

# Tema 2 (1<sup>a</sup> parte): Transporte de Voz

# Contenido

- Repaso: PSTN TDM
- Introducción
- VoFR y VoATM
- VoIP
  - Arquitecturas H.323, SIP, MGCP...
  - QoS y gestión
- Otras tecnologías para voz en MAN/WAN
- Equipos

# Contenido

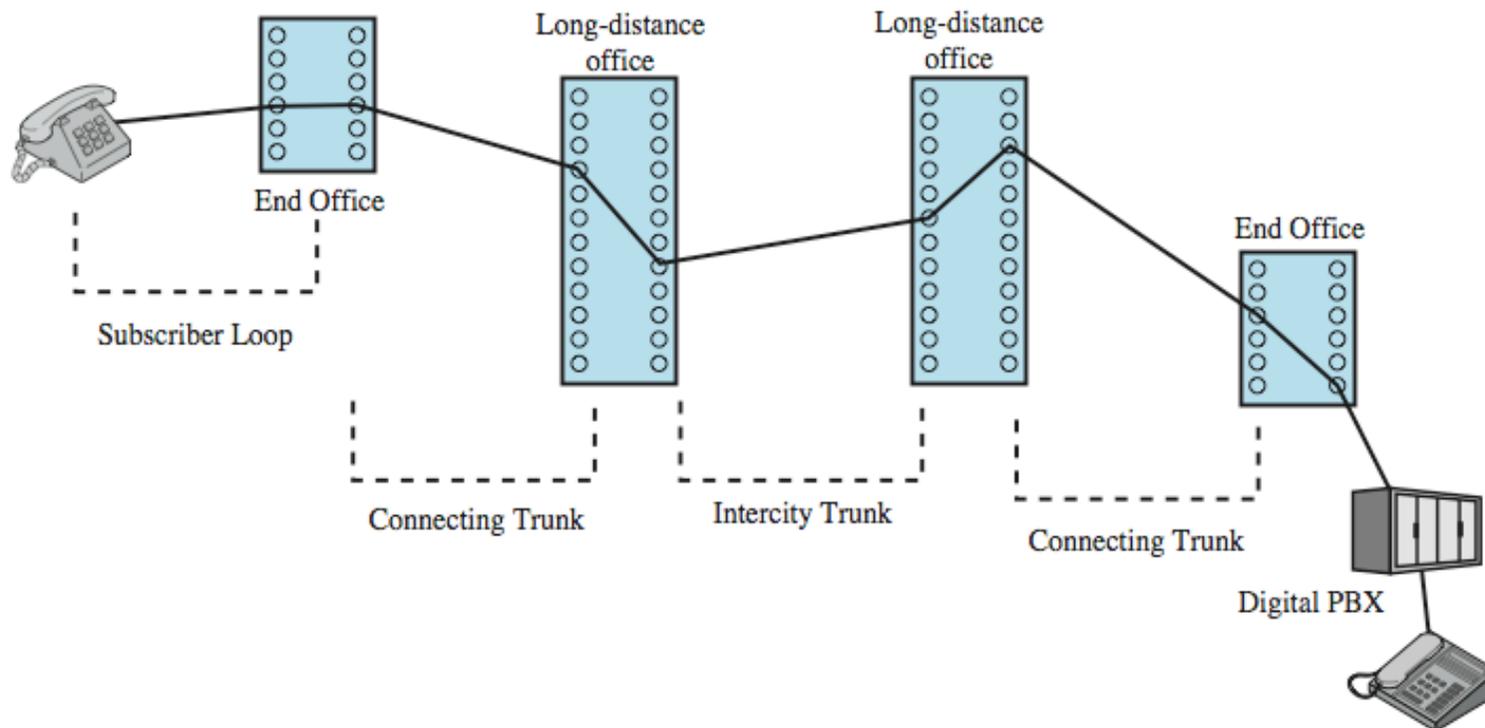
- **Repaso: PSTN TDM**
- **Introducción**
- **VoFR y VoATM**
- **VoIP**
  - Arquitecturas H.323, SIP, MGCP...
  - QoS y gestión
- **Otras tecnologías para voz en MAN/WAN**
- **Equipos**

# PSTN TDM

101

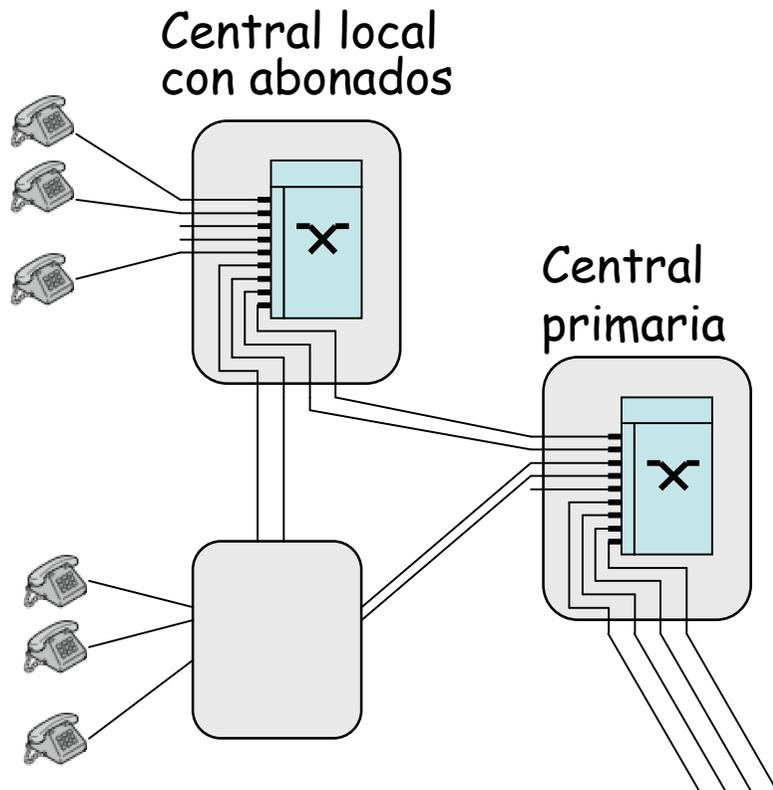
# Red pública telefónica conmutada

- Abonados (subscribers): teléfonos o modems
- Líneas de usuario (subscriber line, local loop): par trenzado
- Centrales de conmutación (exchanges)
  - Central local (End-office): tiene abonados de una zona localizada
- Enlaces (trunks)

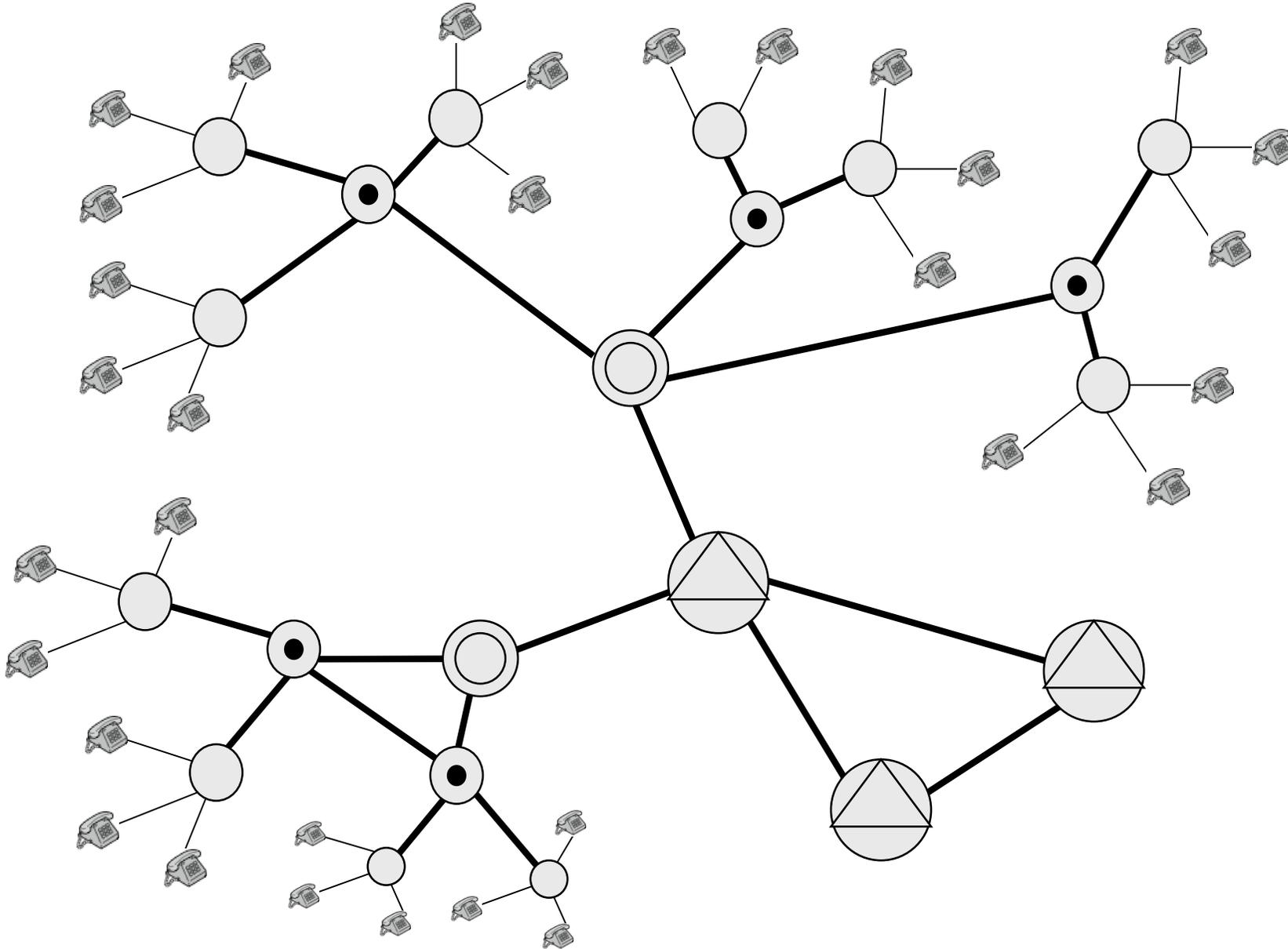


# Arquitectura

- Centrales locales:
  - Conectan a usuarios de esa central entre si
  - Conectan a usuarios a una de las líneas troncales
- Centrales primarias, secundarias, terciarias:
  - Conectan líneas entre centrales
- Los enlaces entre centrales son conjuntos de líneas que se pueden conectar por separado

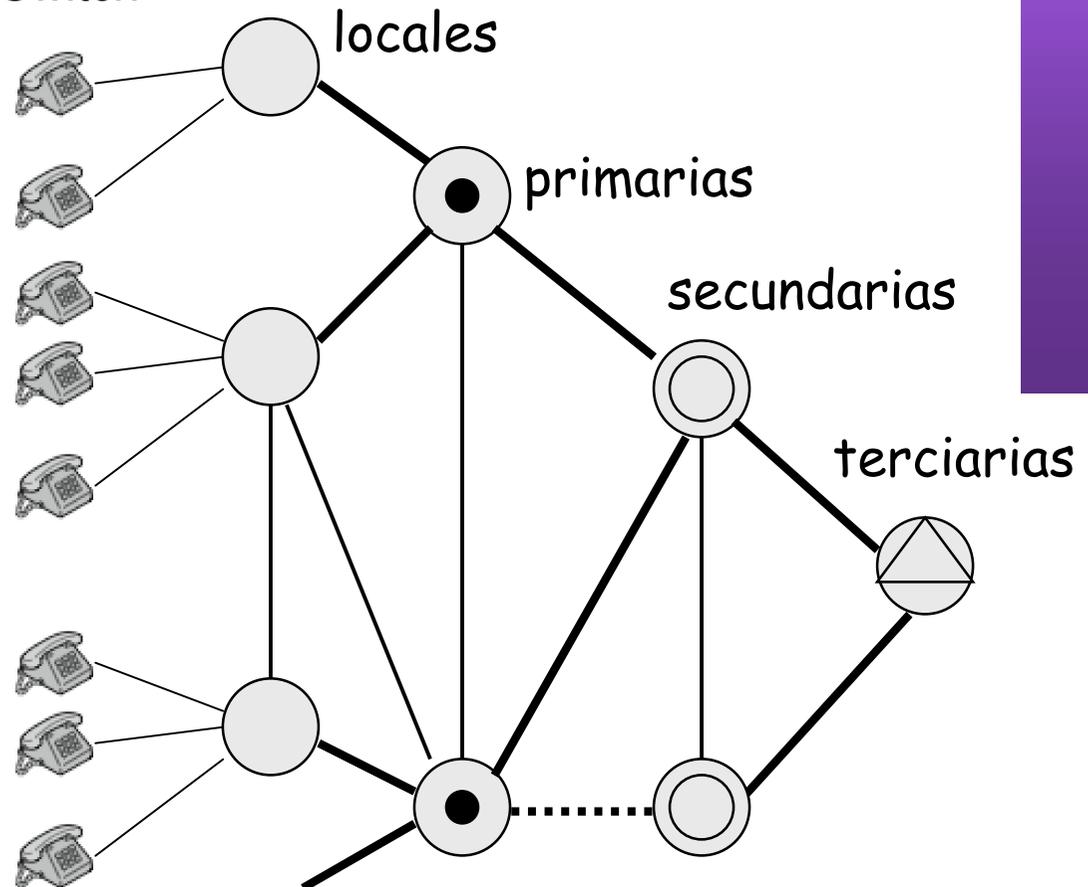


# Arquitectura



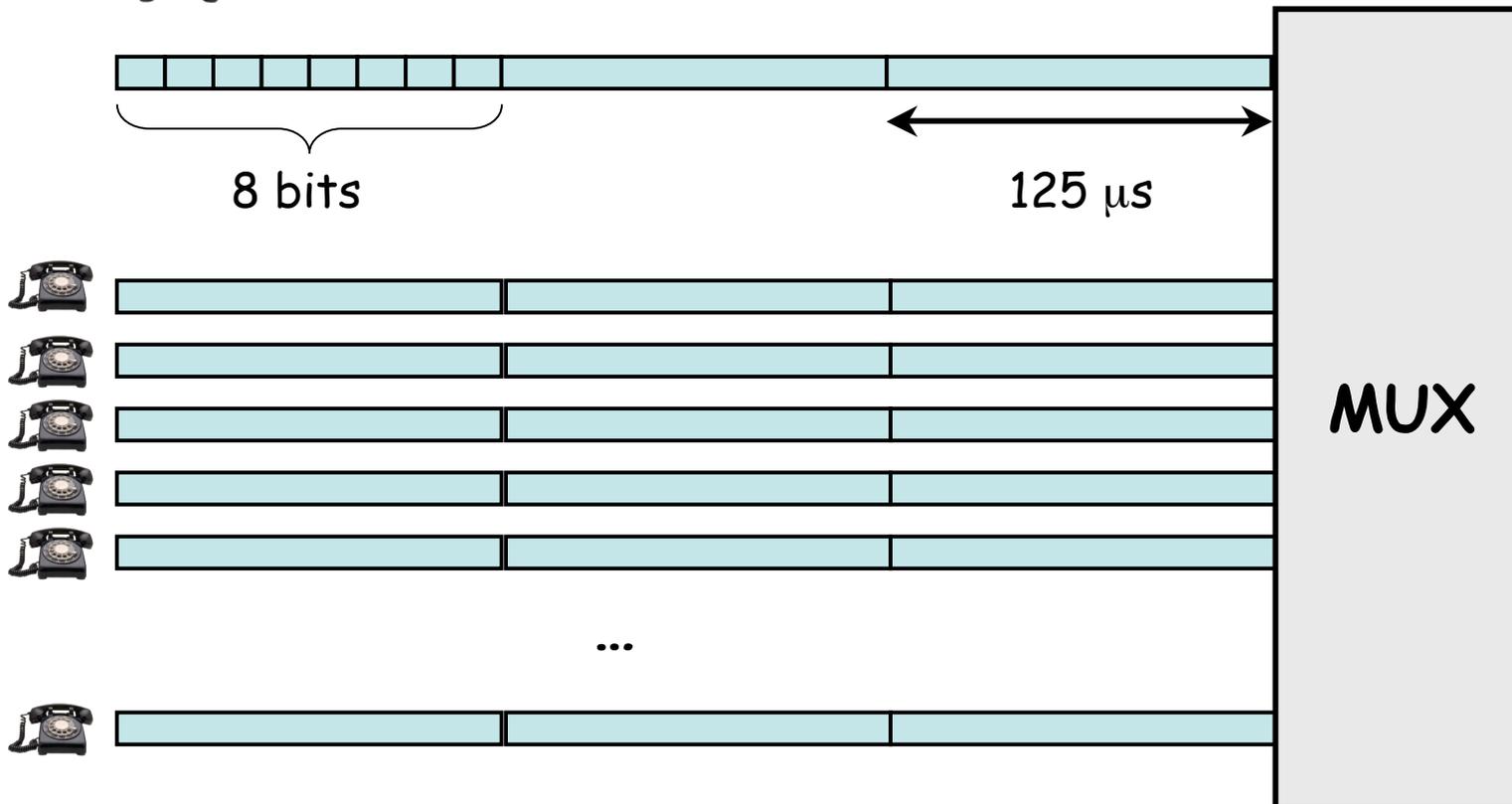
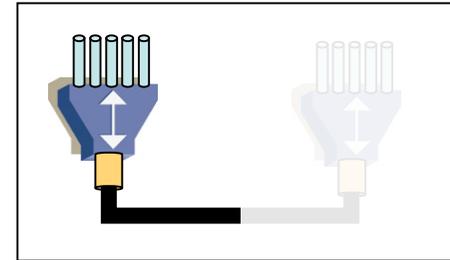
# Arquitectura

- Las centrales se organizan en red jerárquica por niveles (locales, primarias, secundarias, terciarias...)
- Bell System Hierarchy, Switch Class:
  - 1- Regional center
  - 2- Sectional center
  - 3- Primary center
  - 4- Toll center
  - 5- End office
- Facilita el encaminamiento: siempre hay un superior jerárquico



# Multiplexación TDM

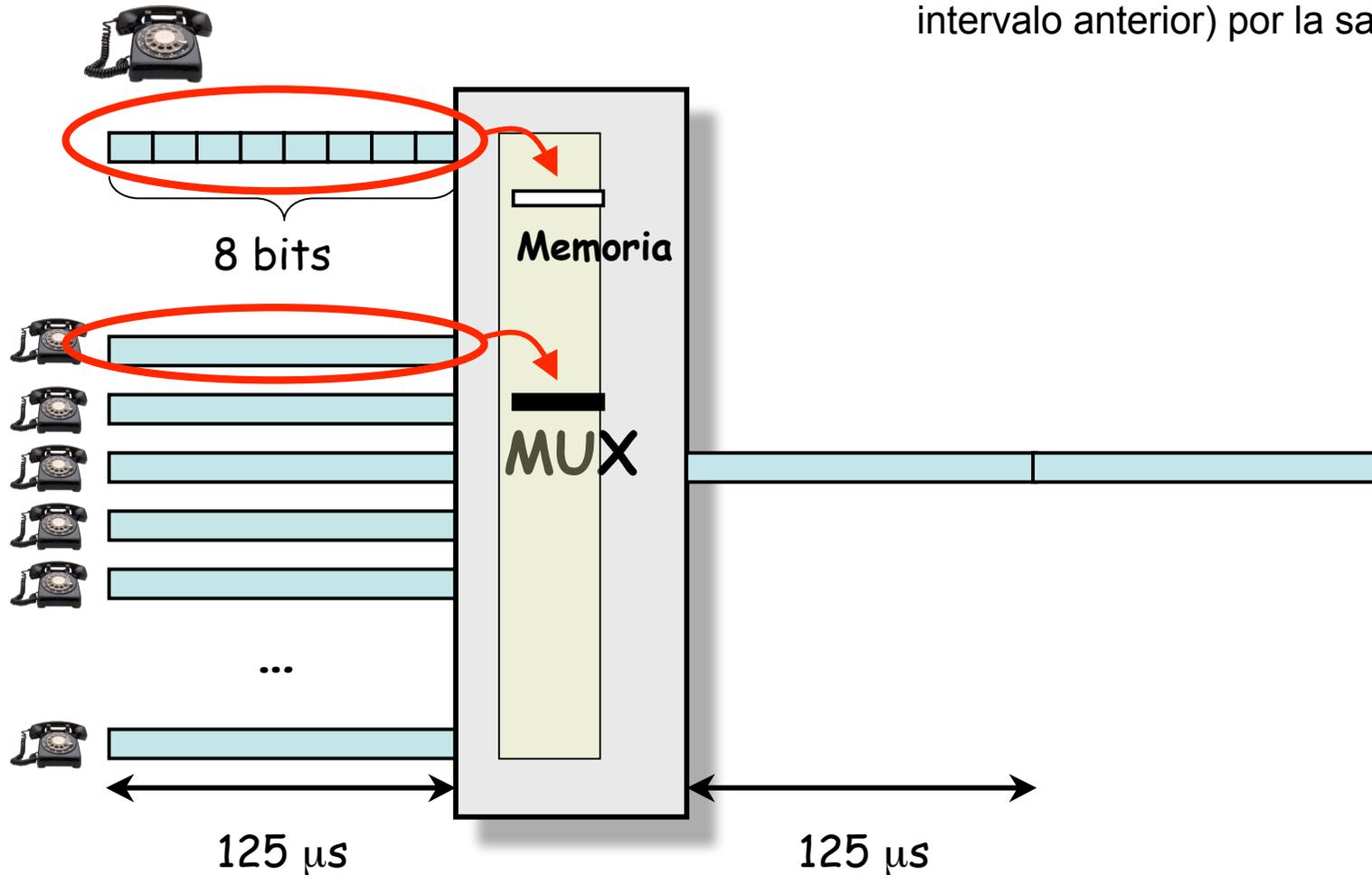
- Las líneas troncales multiplexan los canales de voz en un mismo canal espacial



# Multiplexación TDM

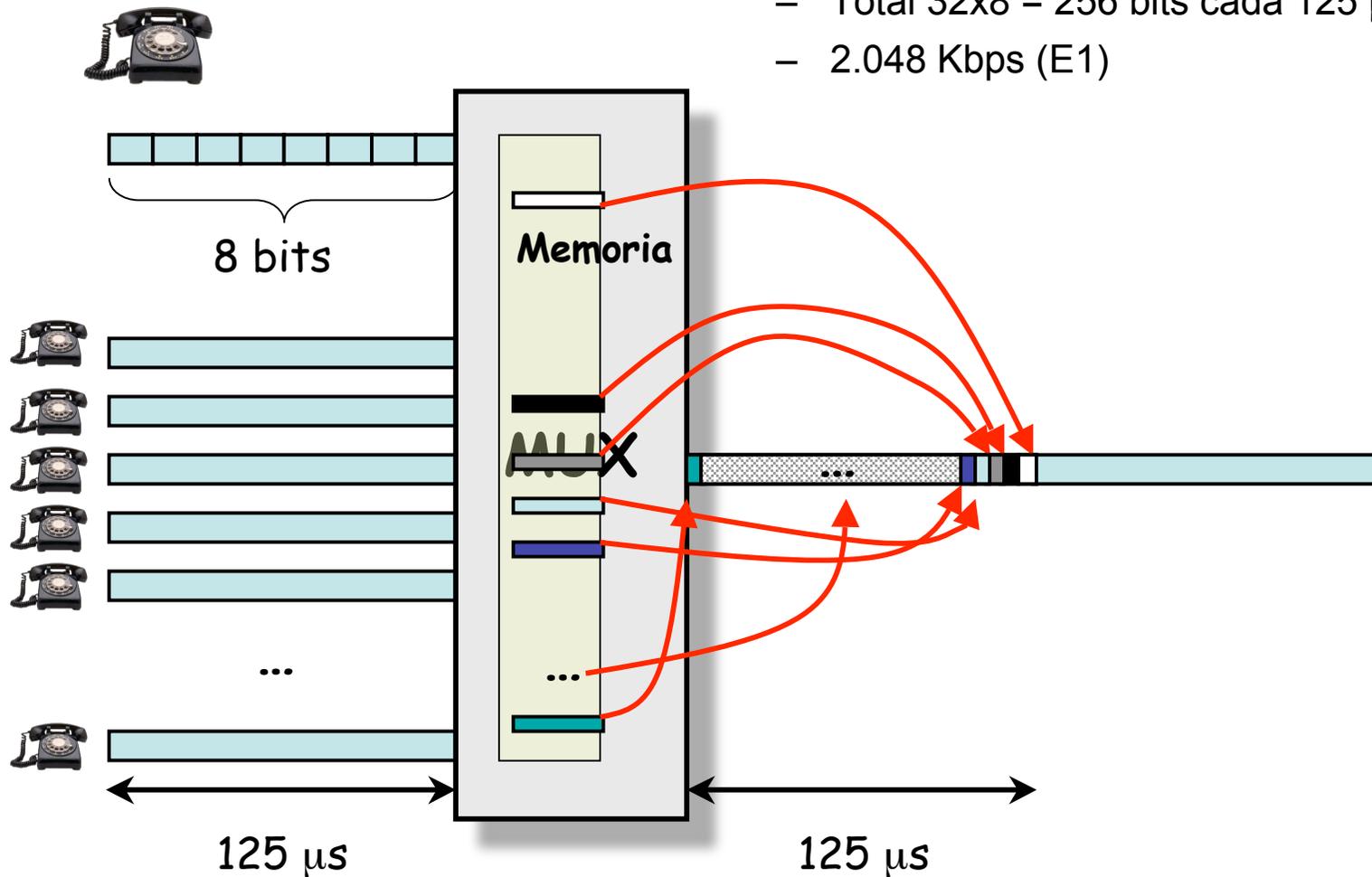
- Las líneas troncales multiplexan los canales de voz en un mismo canal espacial

- En cada  $\partial t$  el MUX
  - Recibe una muestra de voz de cada una de las líneas
  - Envía N muestras de voz (del intervalo anterior) por la salida



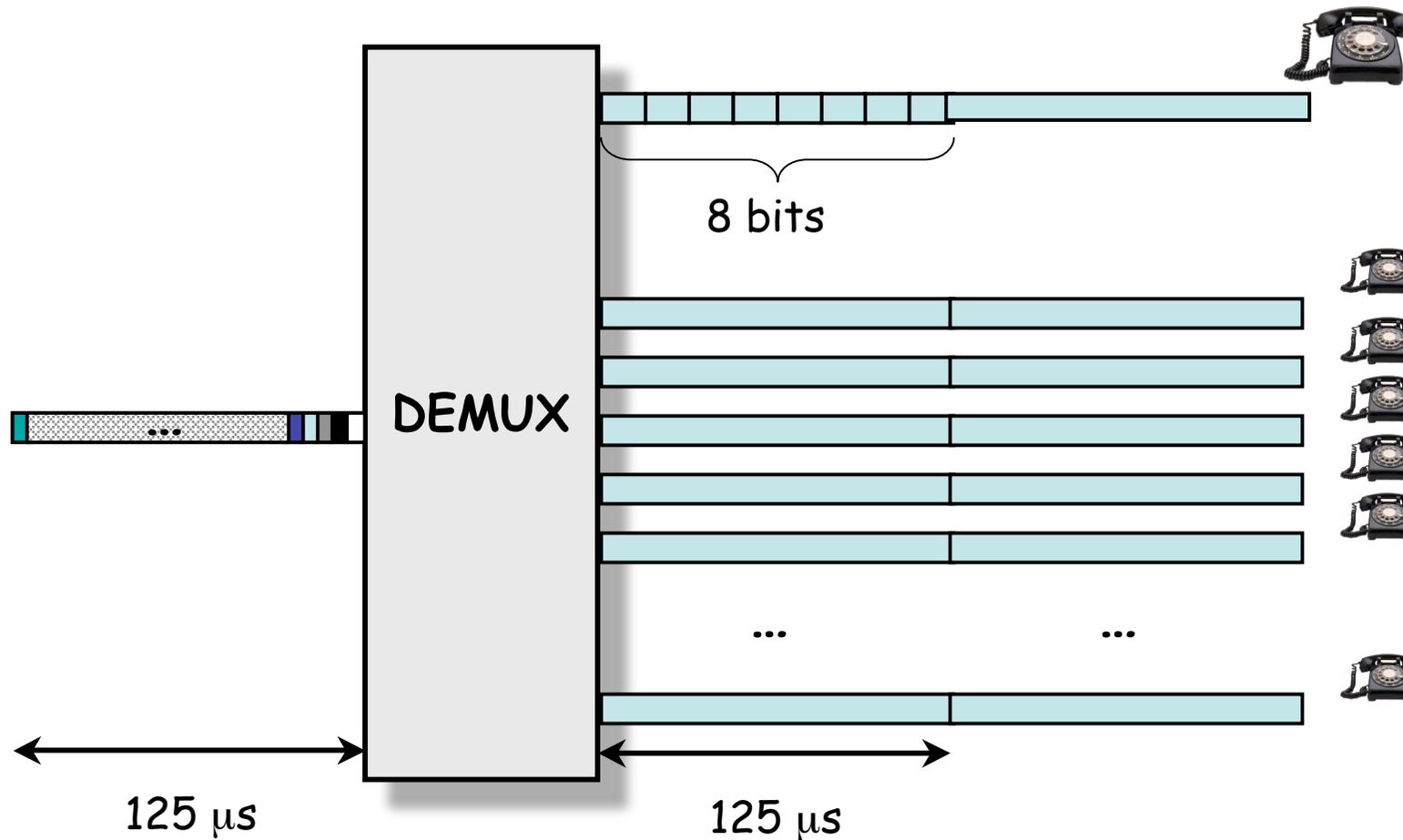
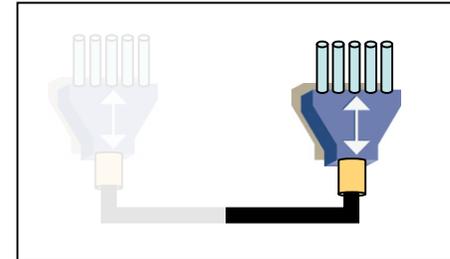
# Multiplexación TDM

- Ejemplo
  - 32 canales de voz
  - Cada canal 8bits cada 125  $\mu$ s
  - Total  $32 \times 8 = 256$  bits cada 125  $\mu$ s
  - 2.048 Kbps (E1)



# Demultiplexación TDM

- Proceso inverso
- Una entrada
- N salidas de velocidad N veces menor

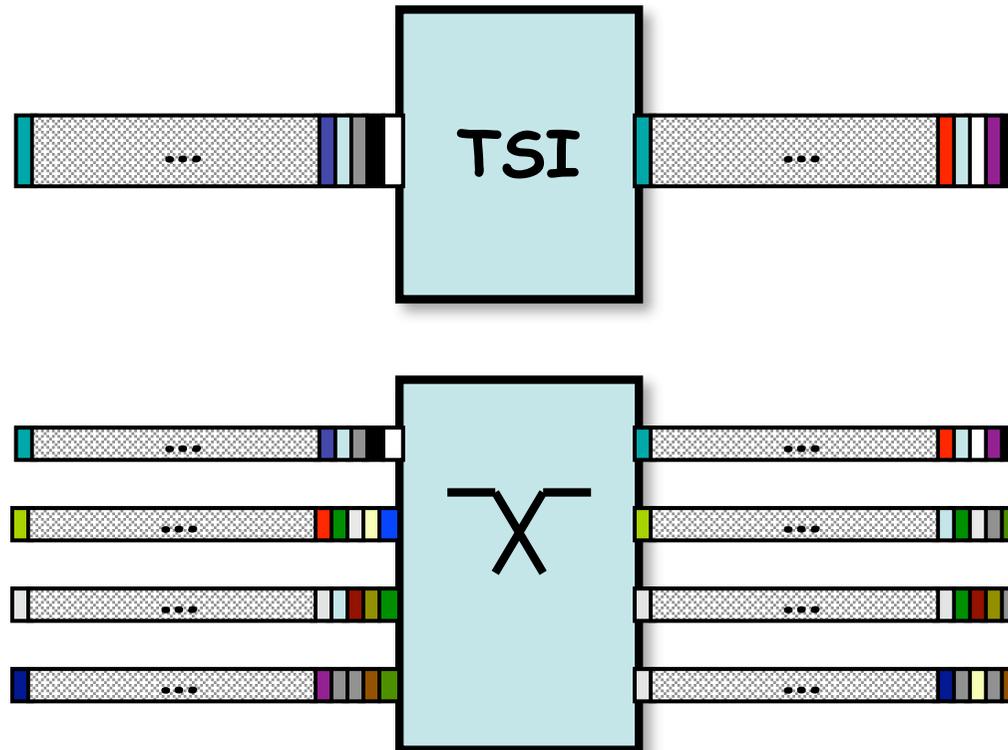


# Conmutación temporal

(Time-division Switching)

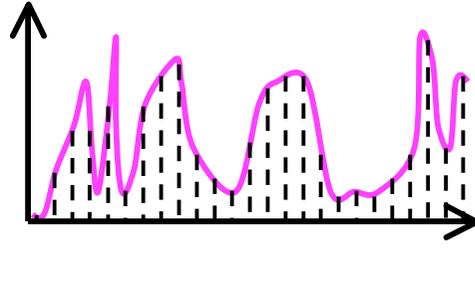
## TSI = Time Slot Interchanger

- Una entrada y una salida
- Ambas llevan N canales de voz multiplexados
- Guarda las muestras de entrada en un buffer de N bytes (una por circuito)
- Las reescribe en diferente orden
- Combinado con MUX/DEMUX el resultado es conmutación

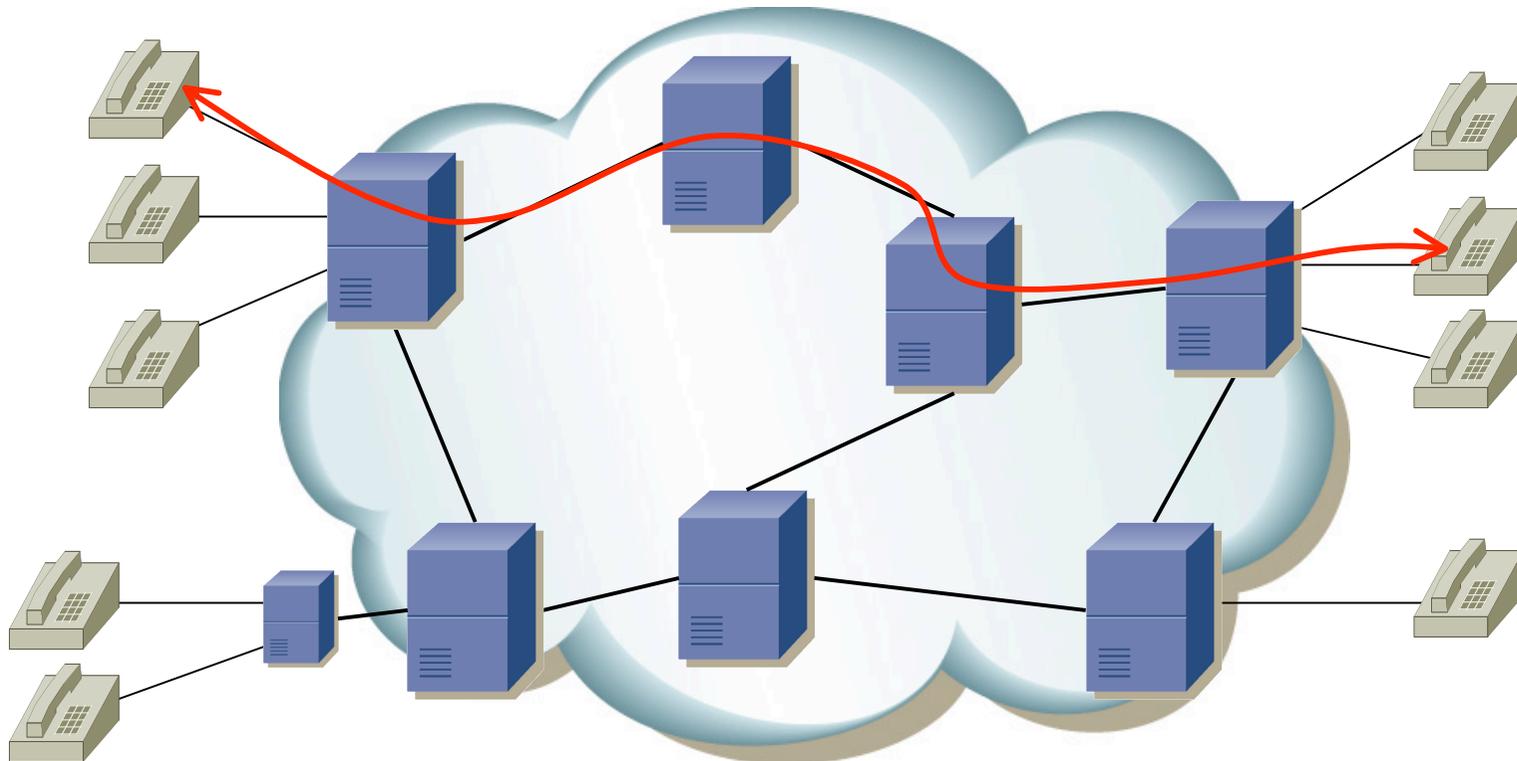


# Servicio telefónico

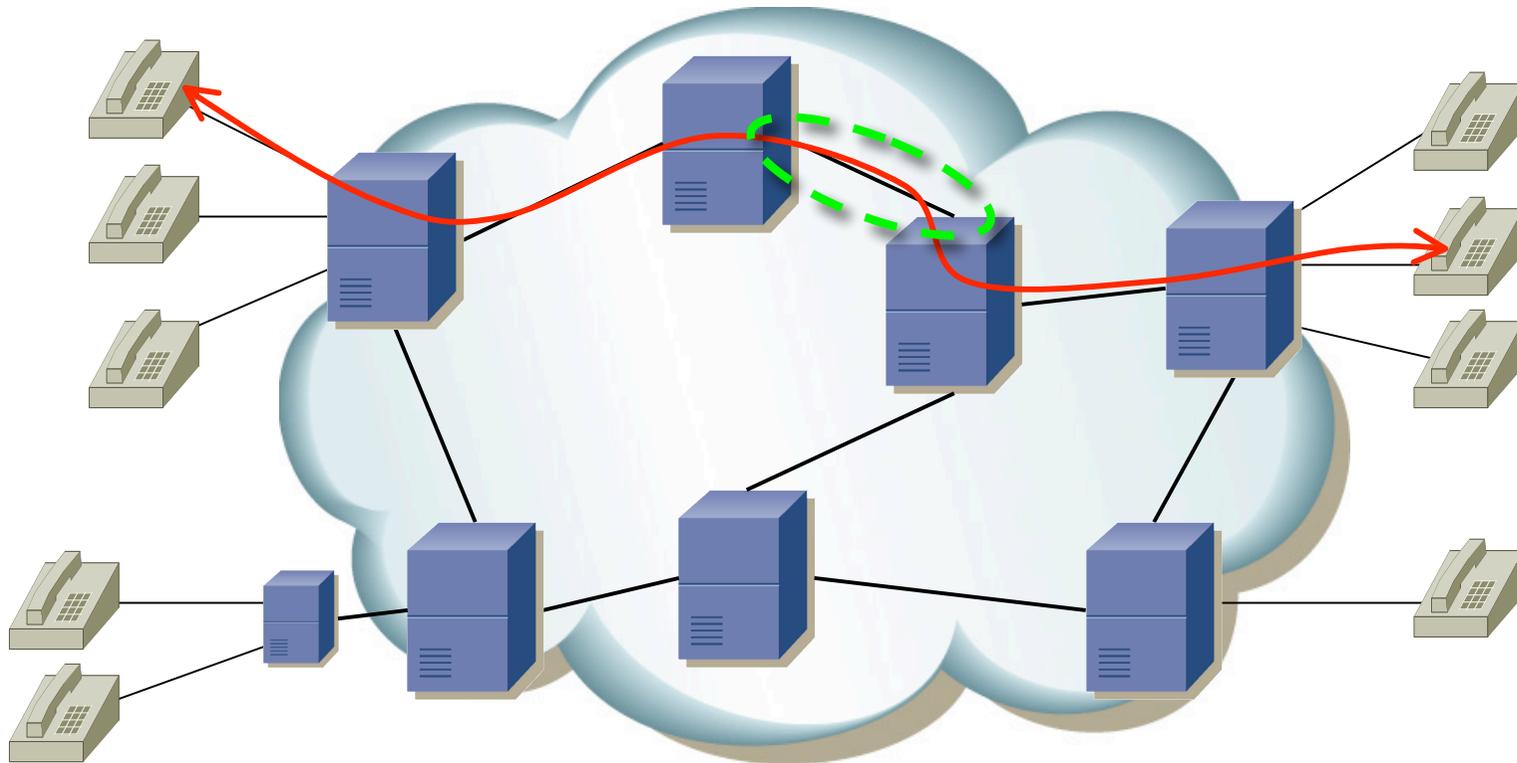
- Señal de voz → flujo binario  
E0 (DS0) : 64Kbps



...100010001010101010110100110100100110

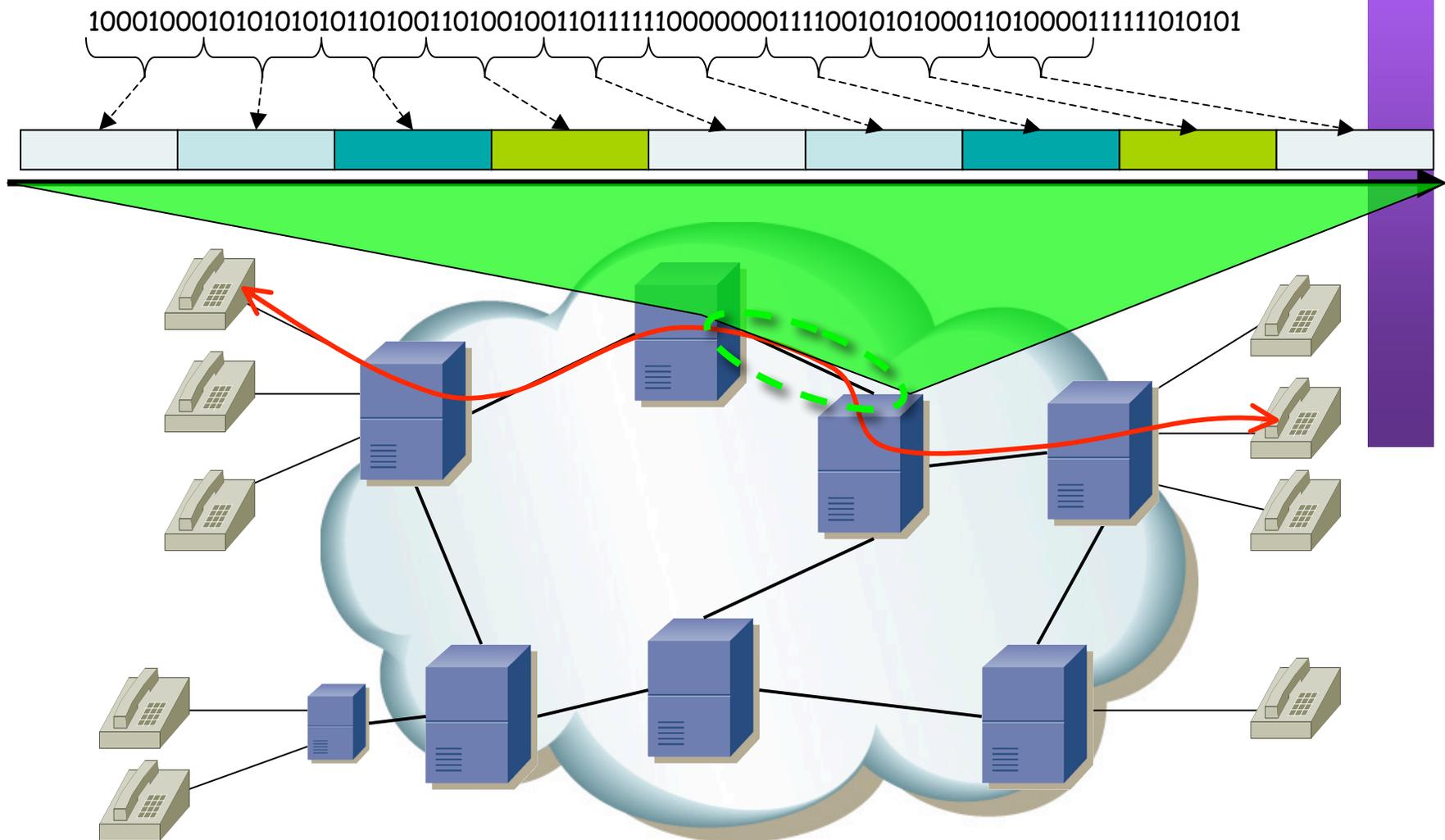


# Servicio telefónico



# Servicio telefónico

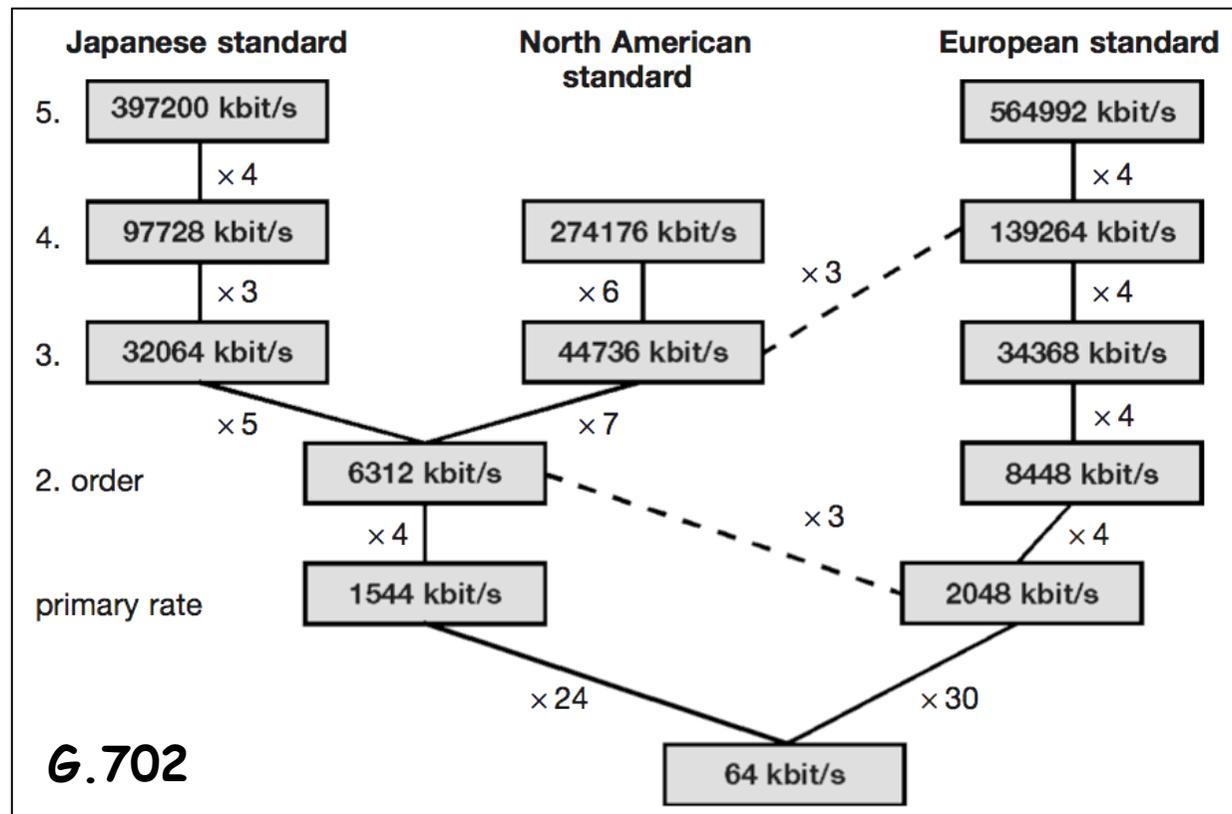
- *TDM = Time Division Multiplexing*



# PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy)

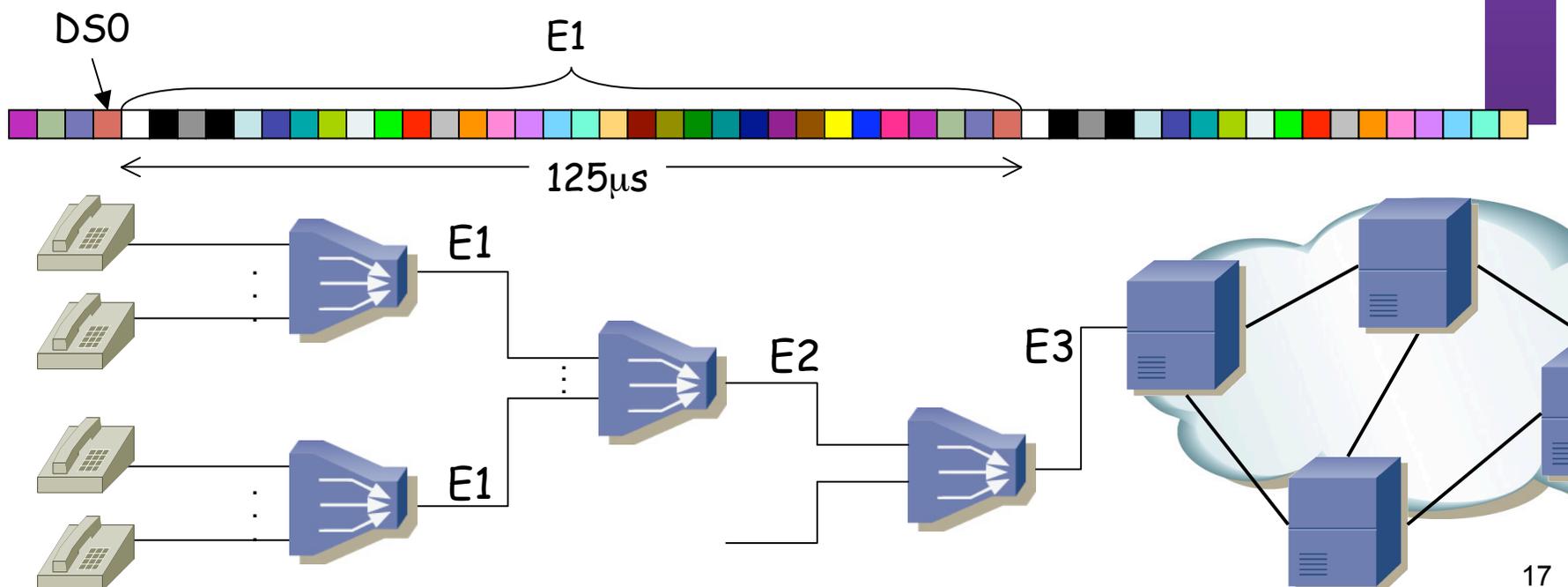
## Multiplexación TDM

- E1 (2048Kbps) = 32xE0
- E2 = 4xE1, E3 = 4xE2, E4 = 4xE3
- T1 (DS1, 1.54Mbps) = 24xDS0
- T2 = 4xT1, T3 = 7xT2
- G.701-703



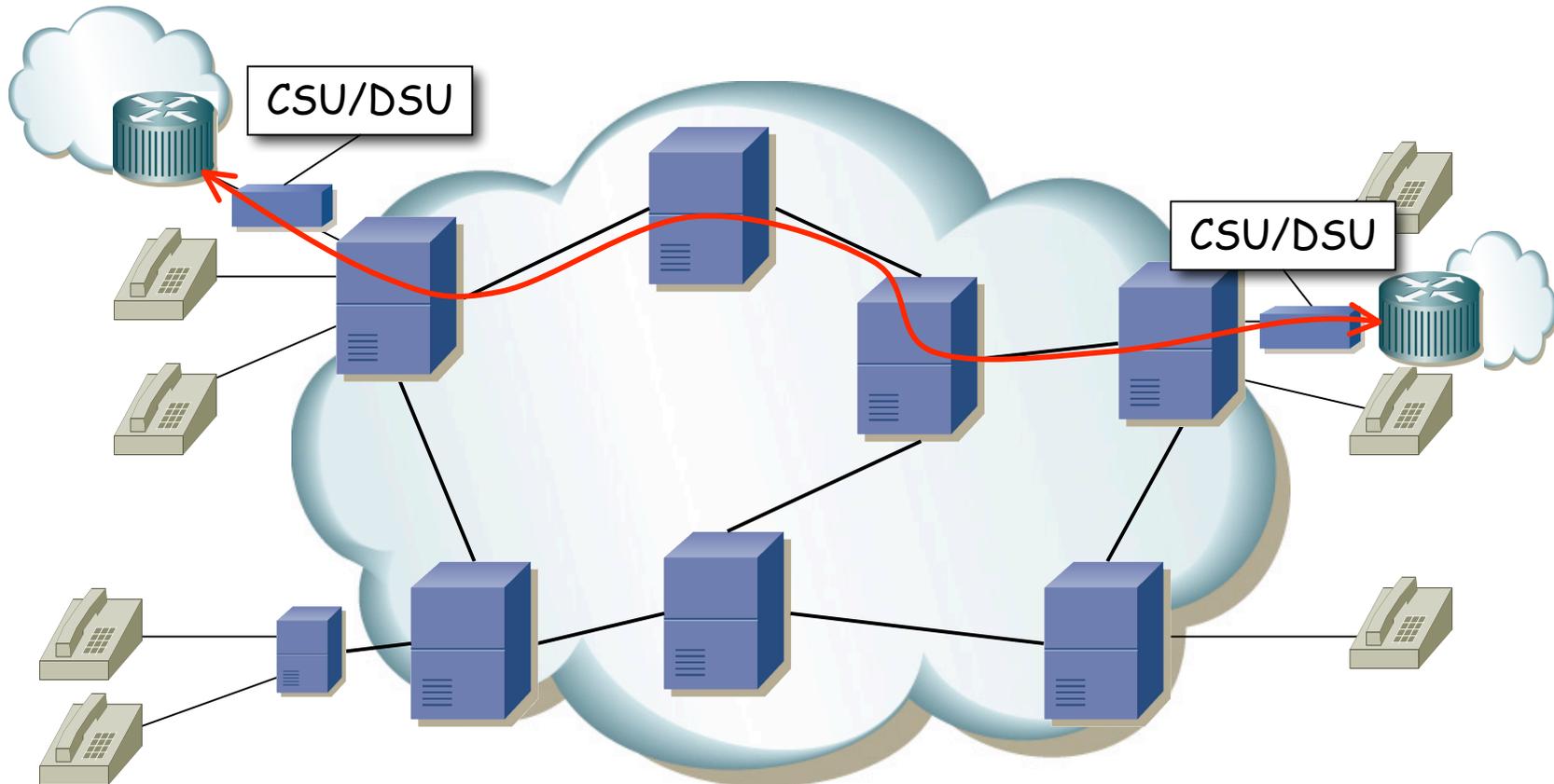
# PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy)

- Señales plesiócronicas:
  - Las velocidades pueden sufrir desplazamientos de fase, *jitter* y *wander* pero con unos límites
  - Cada uno su propio reloj
  - Esto limita las velocidades
- En trama superior a E1 no se puede identificar un E0 concreto
- Demultiplexar para extraer canales menores en la jerarquía



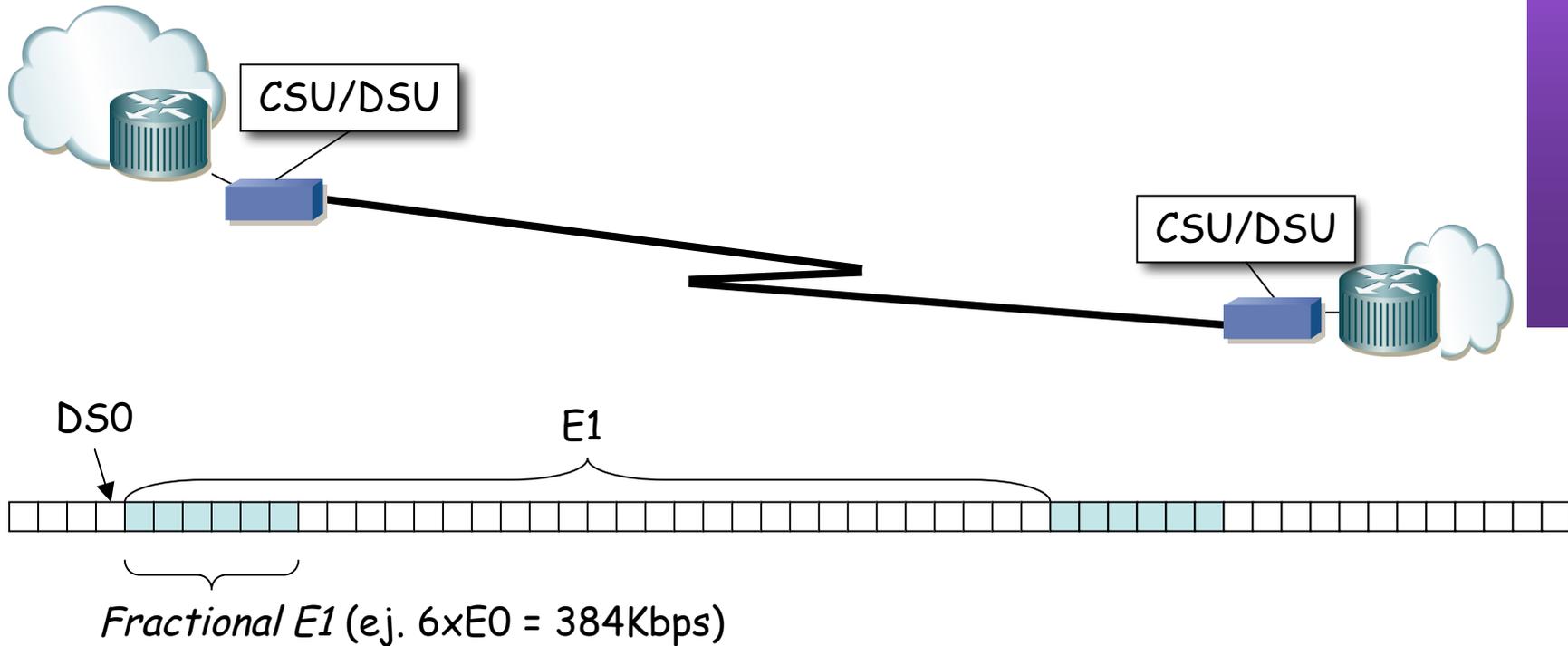
# Datos

- CSU/DSU = *Channel Service Unit / Digital Service Unit*
- Asignan los datos a un canal PDH



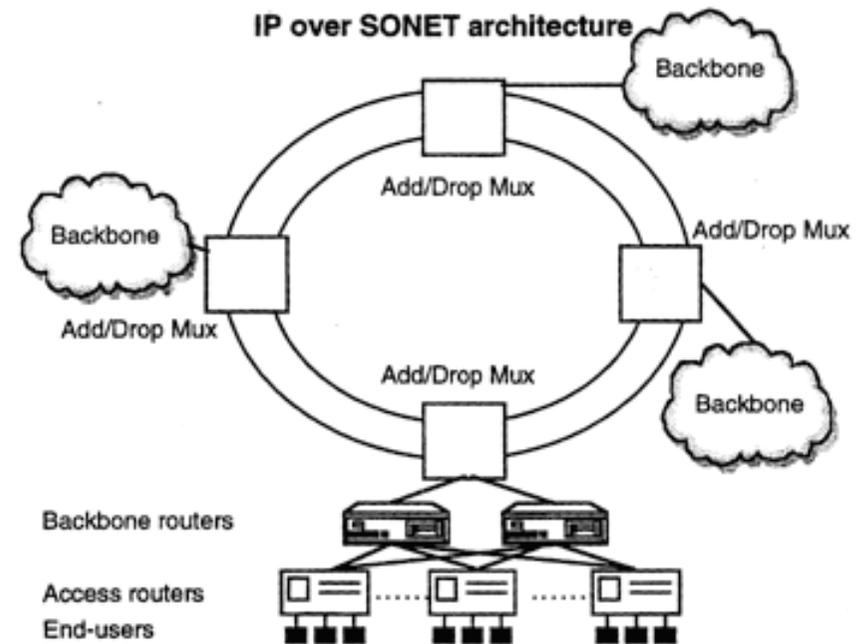
# Datos

- CSU/DSU = *Channel Service Unit / Digital Service Unit*
- Asignan los datos a un canal PDH
- Puede ser un E0, un E1, un E3 o por ejemplo parte de un E1 (E1 fraccional)



# SONET/SDH

- Especificaciones de *Network Node Interface* (NNI)
- Tecnología de transporte. Originalmente para transportar señales PDH
- Permite velocidades elevadas
- Las velocidades están sincronizadas en toda la red
- La sincronización reduce la necesidad de buffering
- Simplifica la inserción y extracción de señales de más baja velocidad sin demultiplexar
- Fácilmente extendible a mayores velocidades
- Compatible entre fabricantes
- Funcionalidades de recuperación ante fallos en los enlaces/nodos
- Funcionalidades de gestión
- Hay tres redes: Transmisión, Sincronización y Gestión



# SONET y SDH

## SONET

- *Synchronous Optical NETwort*
- Estándar del ANSI
- STS (*Synchronous Transport Signal*), señal eléctrica
- STS-1 = 51.84Mbps
- OC-1 (*Optical Carrier*), señal óptica
- Terminología:
  - *STS Section, STS Line, STS Path*
  - *Virtual Tributary*

## SDH

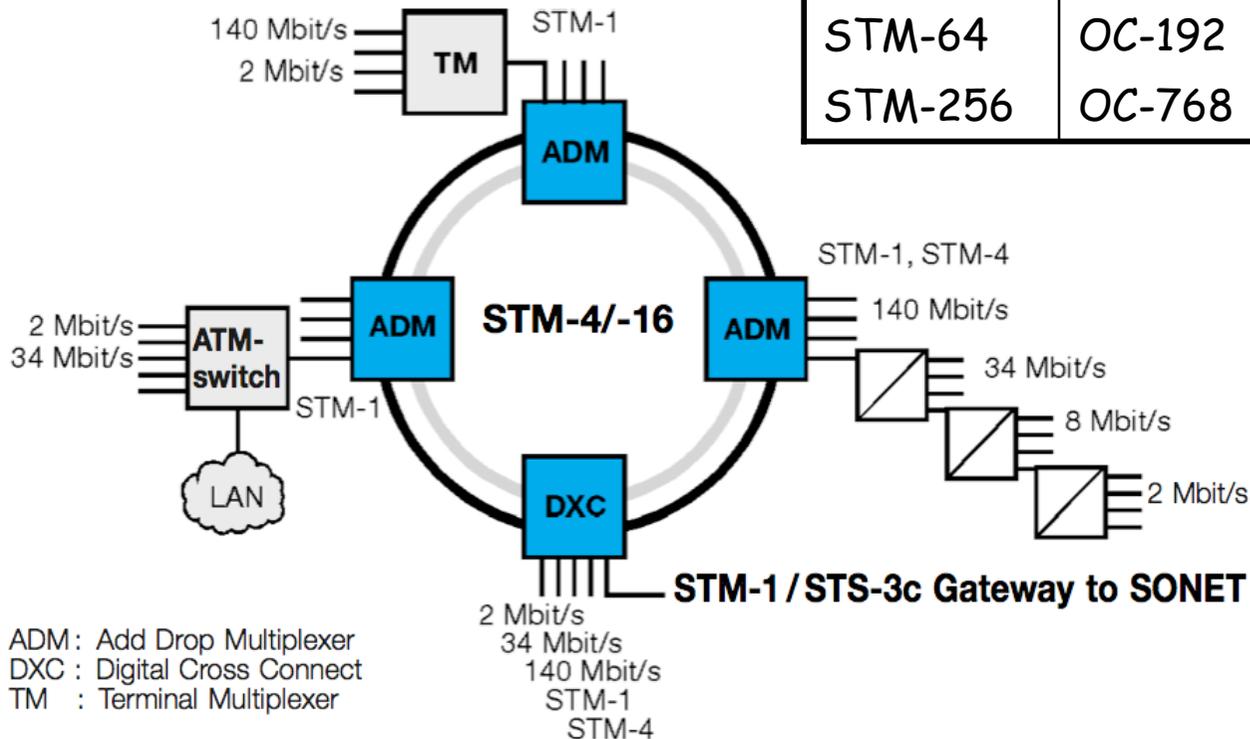
- *Synchronous Digital Hierarchy*
- Estándar del ITU (finales de los 80s, G.707)
- SONET caso particular
- En SDH la señal mínima es la de 155.52Mbps (STM-1)
- STM (*Synchronous Transport Module*), óptico o eléctrico
- Terminología:
  - *Regenerator Section, Multiplex Section, Higher Order Path*
  - *Virtual Container*



# SONET/SDH

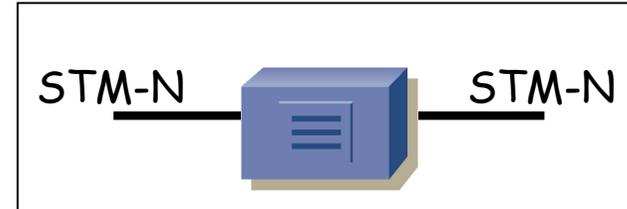
- SDH se diseñó para transportar señales de 1.5, 2, 6, 34, 45 y 140 Mbps
- Límite de velocidad impuesto por la tecnología, no por la falta de estándar

SDH	OC Level	Line Rate (Mbps)
	OC-1	51.84
STM-1	OC-3	155.52
STM-4	OC-12	622.08
STM-16	OC-48	2488.32
STM-64	OC-192	9953.28
STM-256	OC-768	39813.12



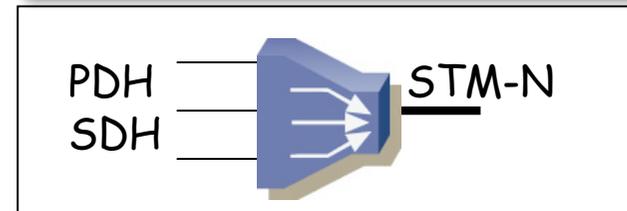
# Elementos

## Regeneradores



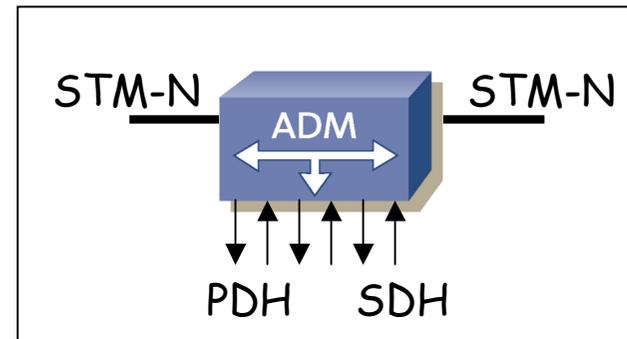
## Terminal Multiplexers (TM)

- Multiplexan señales plesiócronas y síncronas en una única señal de nivel superior



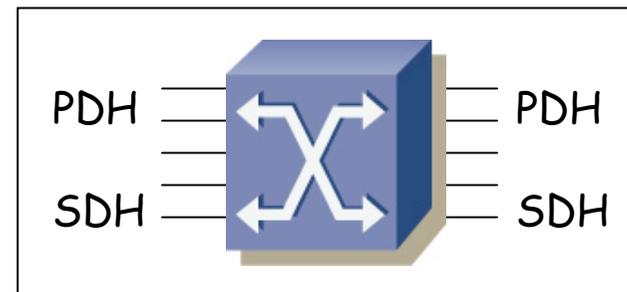
## Add-Drop Multiplexers (ADM)

- Insertan y extraen señales PDH y SDH
- Distancia entre ellos suele rondar las decenas de Km



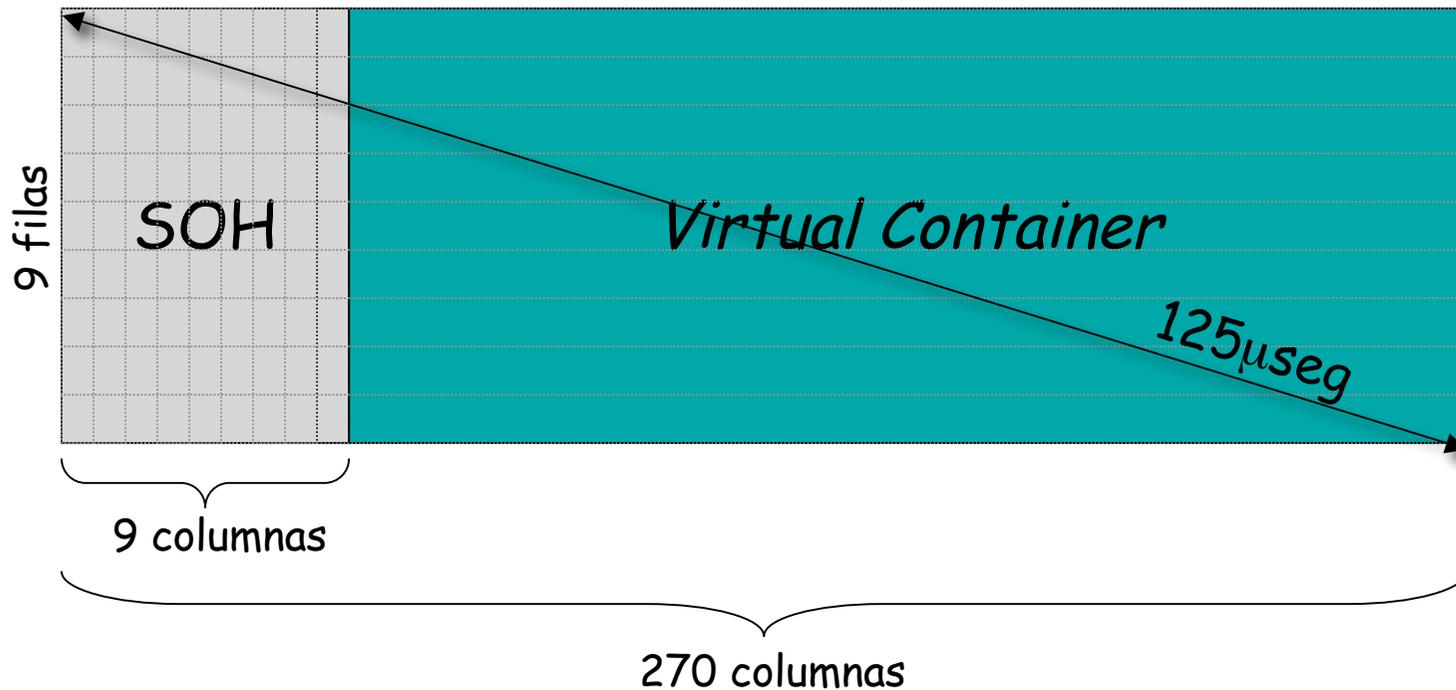
## Digital Cross-Connect (DXC)

- Conmutación, inserción y extracción de señales PDH y SDH



# Estructura de la trama STM-1

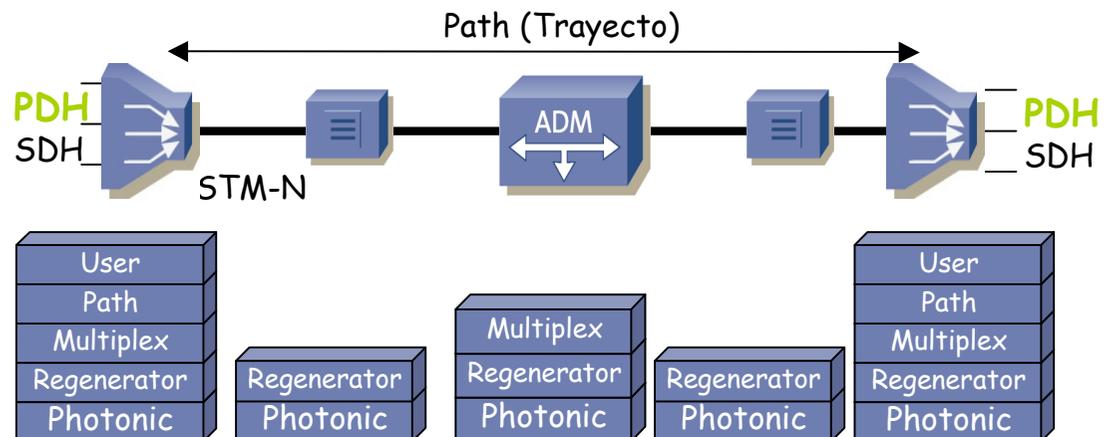
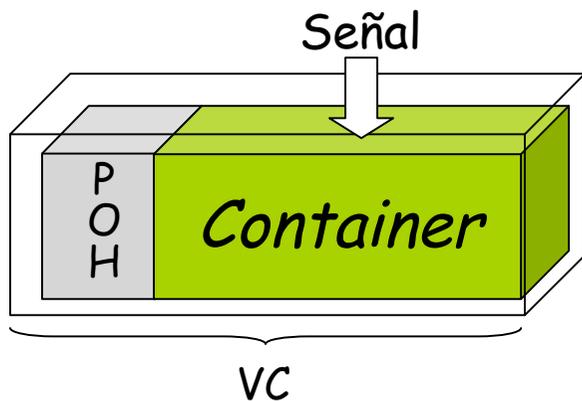
- 1 byte  $\Rightarrow$  64Kbps
- 64Kbps x 9 filas x 270 columnas = 155.52Mbps
- SOH = *Section OverHead* (9 columnas)
- STM-N: duración de 125 $\mu$ seg, 9 filas, Nx270 columnas



# Entramado

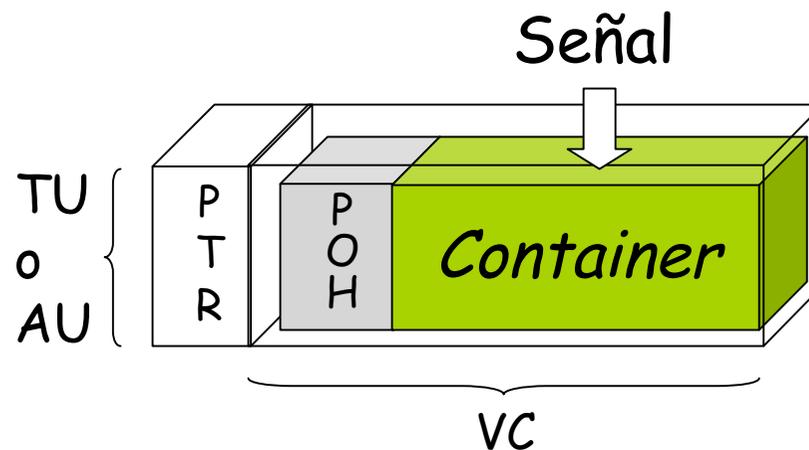
- Las señales PDH se introducen dentro de un *Container SDH* de capacidad suficiente  $\Rightarrow$  Contenedor + *Path OverHead (POH)* = *Virtual Container (VC)*
- La señal PDH se inserta de manera *asíncrona* (modo flotante)
- Se permite que la velocidad binaria fluctúe dentro de unos márgenes

Contenedor	Velocidad (Kbps)	Ejemplos de cargas útiles PDH
C-12	2176	2048Kbps (E1)
C-2	6912	6Mbps (T2)
C-3	49536	45Mbps (T3) ó 34Mbps (E3)
C-4	149760	140Mbps (E4)



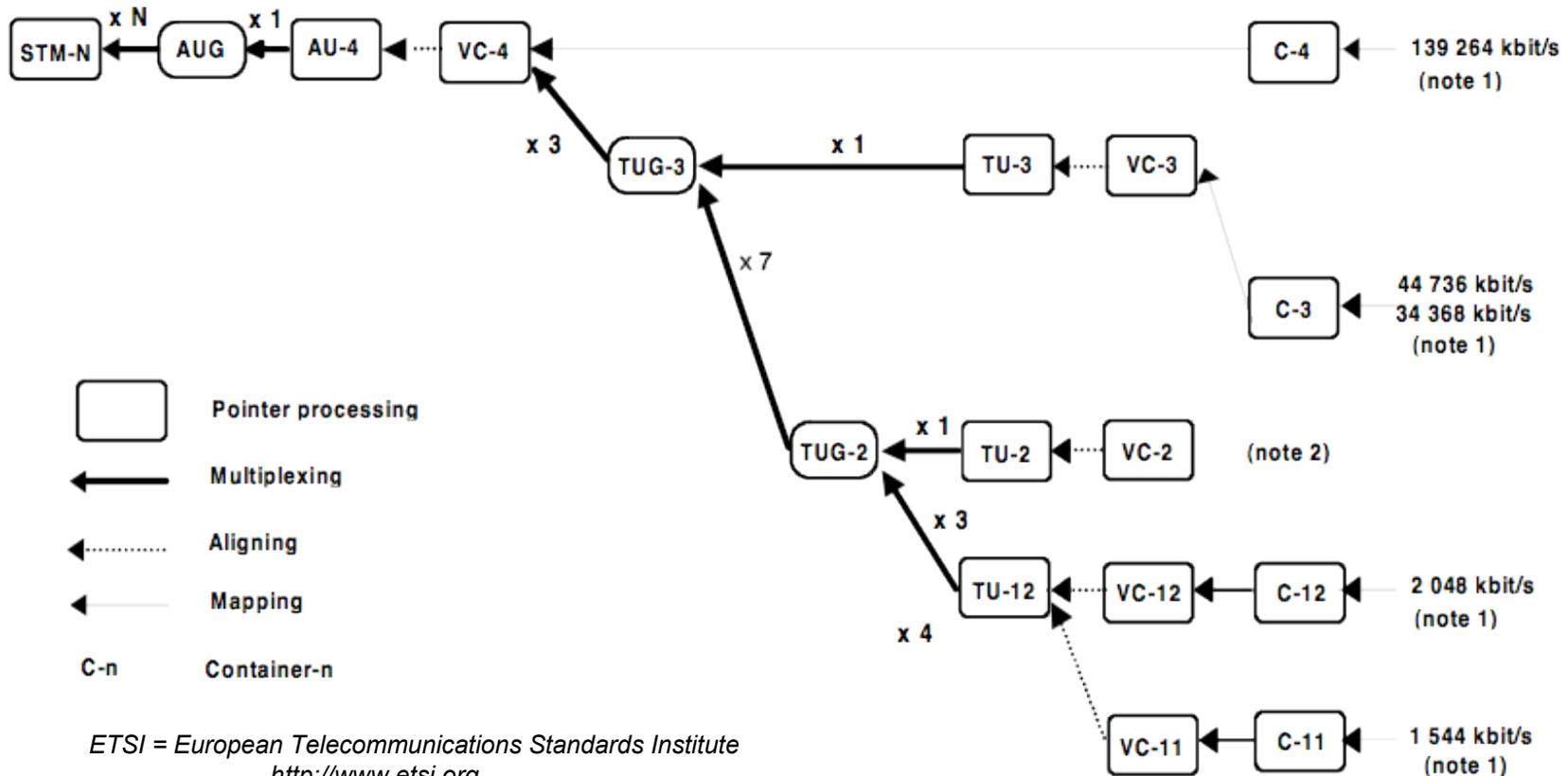
# Entramado

- Un VC de orden inferior puede transportarse dentro de uno de orden superior pero la asincronía puede ser un problema
- Se localiza un VC dentro de otro gracias a un Puntero
- VC + Puntero = Tributary Unit (TU)
- Varios TUs pueden agruparse en un Tributary Unit Group (TUG) sin mayor sobrecarga (es una agrupación solo en gestión)
- Agrupando TUGs se llega a formar un Contenedor de orden superior (VC-4)
- El VC-4 junto con un puntero forma la Unidad Administrativa (AU-4)



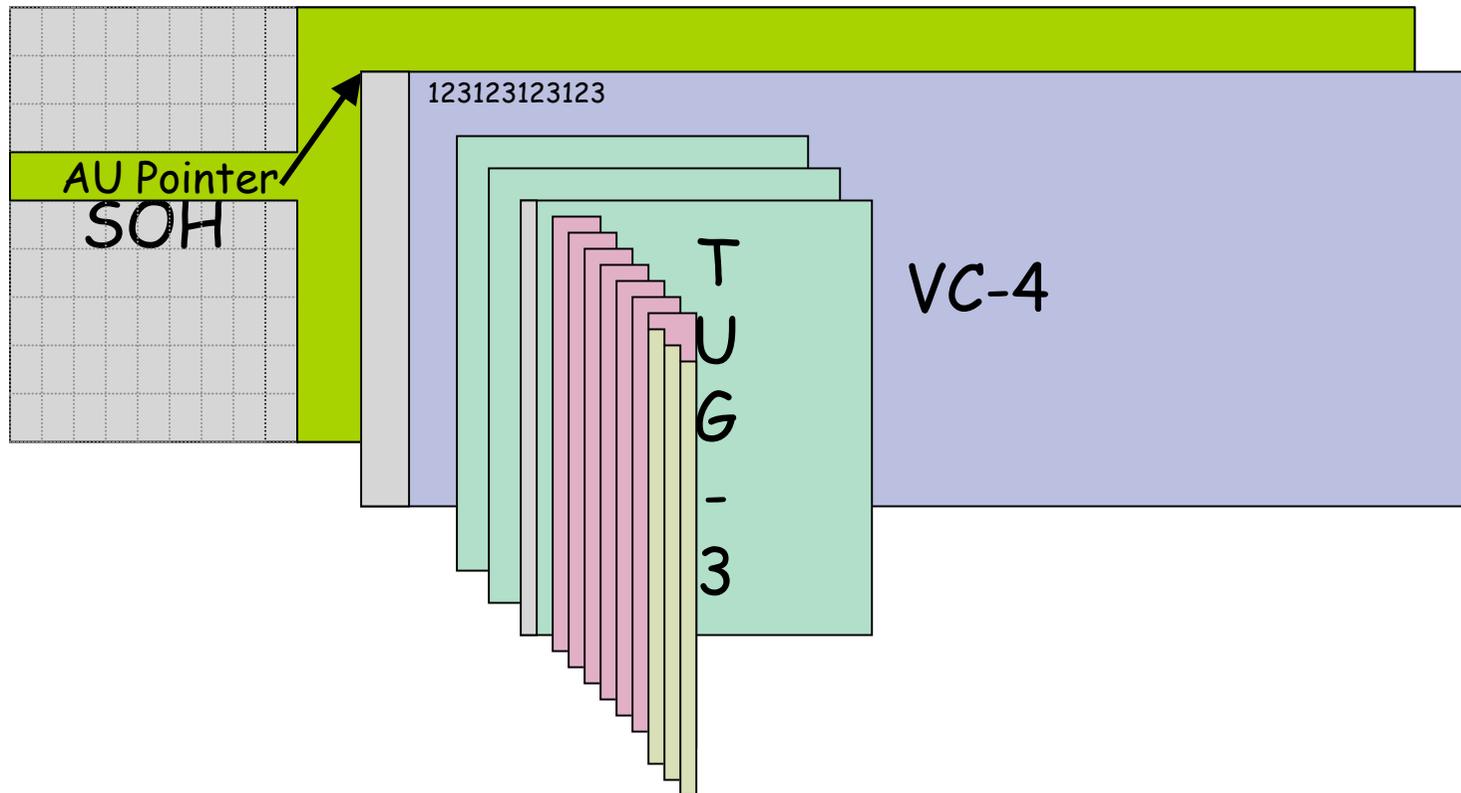
# Estructura de multiplexación

- La trama STM-1 puede transportar diferentes combinaciones de *Virtual Containers*
- Estructura de multiplexación generalizada de ETSI (subconjunto de la estandarizada en G.707):



# Estructura de la trama STM-1

- En 1 STM-1:
  - 1 señal de 140Mbps (E4) ó
  - 3 VC-3, señales de 34/45 Mbps (E3/T3)
- Cada VC-3 puede sustituirse por 21 señales de 2Mbps (E1)



# Señalización

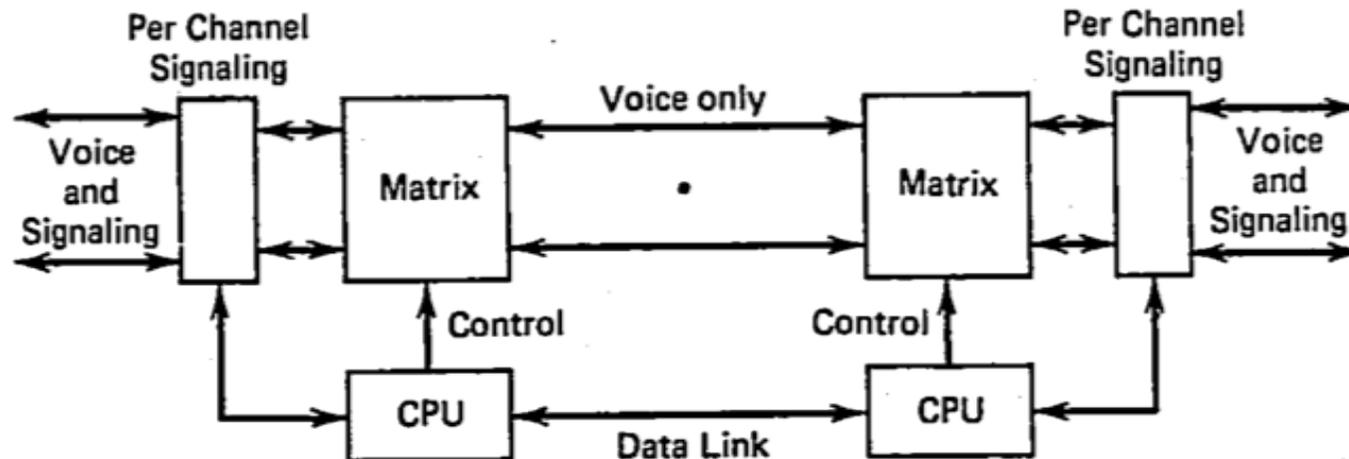
Se suele hablar de (principalmente telefonía analógica):

## Señalización “en canal”

- Usa los mismos recursos de transmisión para la voz y para la señalización
- Puede ser “en banda” o “fuera de banda” (banda de frecuencias vocal)
- Ej. en banda: tonos en el marcado (MF, DTMF). Ej. fuera de banda: continua (DC) en el bucle de abonado para detectar el descuelgue

## Señalización por canal común (CCS = Common Channel Signaling)

- Emplea un canal dedicado entre las CPUs de los conmutadores
- Los mensajes pasan entre los nodos de conmutación (*store-and-forward*)
- Los mensajes pueden emplear caminos diferentes a los de la voz
- Se crea así una red de conmutación de paquetes para la señalización



# Señalización

**Y también de (principalmente telefonía digital):**

## **In-band signaling**

- Usa el mismo canal físico que la voz
- Se entremezcla con la señal de voz
- Ej: CAS (Channel Associated Signaling) lleva la señalización en el mismo DS0 que la voz
- Ej: también MF y DTMF

## **Out-of-band signaling**

- A.k.a. Common Channel Signaling (CCS)
- Canal digital dedicado para la señalización
- Ej: SS7, PRI (Primary Rate Interface)
- De dos tipos
  - FAS (Facility Associates Signaling): usa el mismo medio físico que los canales de voz
  - NFAS (Non-Facility Associated Signaling): no usa el mismo medio físico que los canales de voz (bearers)

# Señalización

## T1 CAS

- Existen diferentes formas de CAS (loopstart, groundstart, EANA, E&M)
- Soporta procesar DNIS (Dialed Number Identification Service) y ANI (Automatic Number Identification)
- T1 son 192+1 bits (G.704)g.
- Superframe (SF) son 12 frames de T1 (cada una 125  $\mu$ seg)
  - El bit +1 sigue una secuencia que permite reconocer el comienzo de la SF
  - En frames 6 y 12 el 8º bit de cada canal se emplea para señalización (bits A y B)
- Extended Superframe (ESF) son 24 frames
  - En frames 6, 12, 18 y 24 el 8º bit de cada canal se emplea para señalización (bits ABCD)
- A.k.a Robbed Bit Signaling



# Señalización

## ISDN PRI Trunk (Primary Rate Interface)

- CCS
- Usar un DS0 de un DS1, o uno de un E1 (canal 16)
- Canal de voz = Canal B = bearer
- Canal de señalización = Canal D
  - Q.921: layer 2, full-duplex, reliable
  - Q.931: layer-3 , call setup and clearing, status, etc.
- ISDN NFAS permite usar un solo canal D para más de un T1 (no aplica a E1s)

# Señalización

## SS7

- CCS
- Packet-based
- Enlaces de diferentes velocidades (56/64 kbps, 1,544 Mbps)
- Forma una WAN que enlaza las lógicas de control de los switches de la PSTN
- En acceso a ella, dos modos:
  - Fully associated signaling
    - Existe un enlace de señalización por cada enlace de voz
    - Ej: canal 16 en un E1
  - Quasi associated signaling
    - Señalización por otro enlace que el de tráfico entre los dos switches
    - Permite usar todos los canales de T1/E1s para voz y datos
- IETF SIGTRAN: SS7 over IP

# Introducción

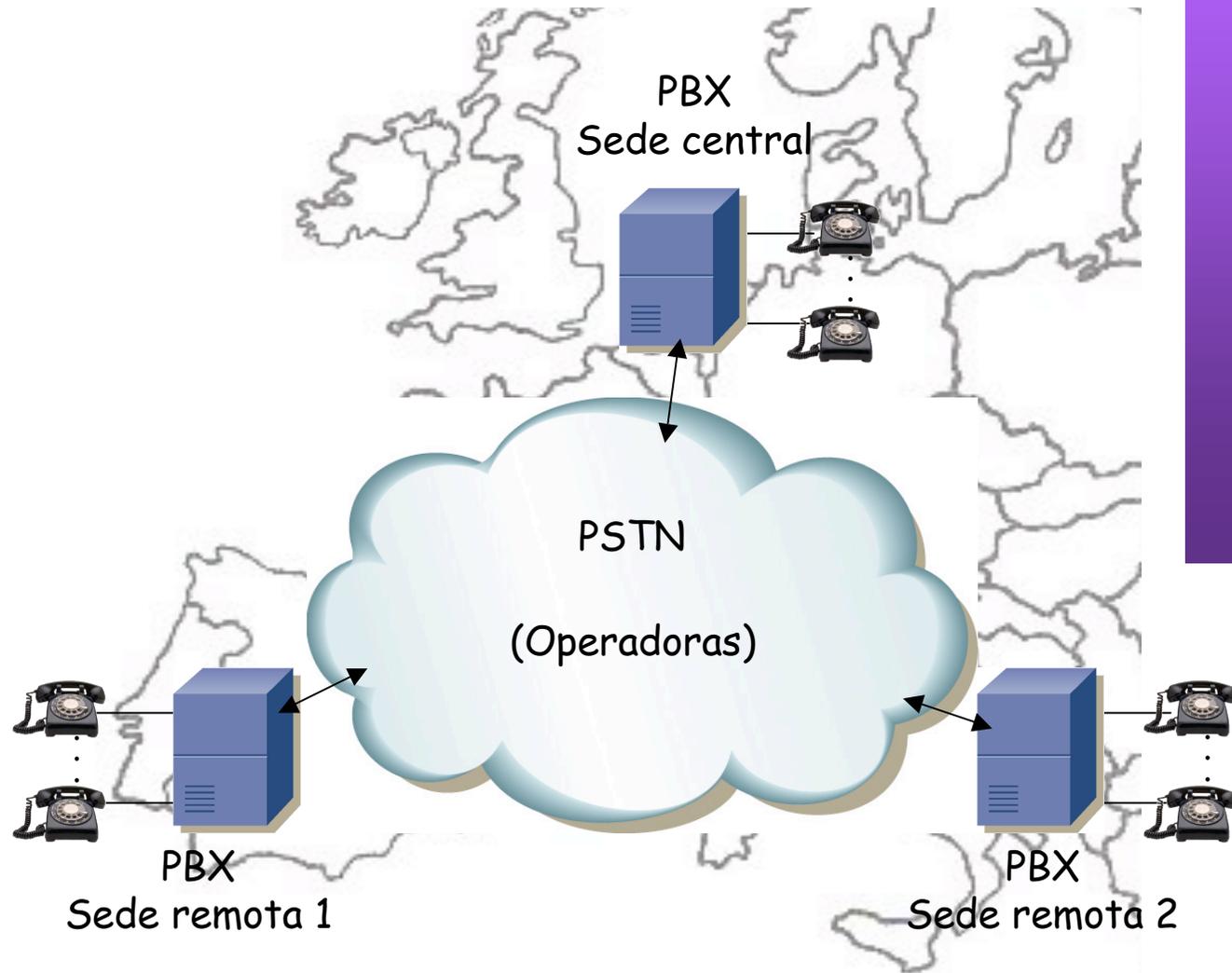
# Motivación

## ¿Por qué dejar de usar TDM?

- Utilizar la misma infraestructura de datos: reduce CAPEX y OPEX
- Negocio:
  - Añadir más servicios al cliente
  - Telcos añaden datos, ISPs añaden voz
- Aumentar la cantidad de llamadas que se pueden cursar por un enlace
  - *Voice compression*
    - vs los 64 kbps PCM
    - Cuidado, reduce la calidad (MOS, ITU-T P.830), o usar si sobra el BW
  - *Silence suppression*
    - VAD = *Voice Activity Detection*
    - Habla tiene en torno a un 42% de actividad frente al tiempo total
  - *Statistical gain*
- Más sencillo añadir nuevos servicios de valor añadido
- Hacer escalabilidad más sencilla
- Simplificar enrutamiento alternativo

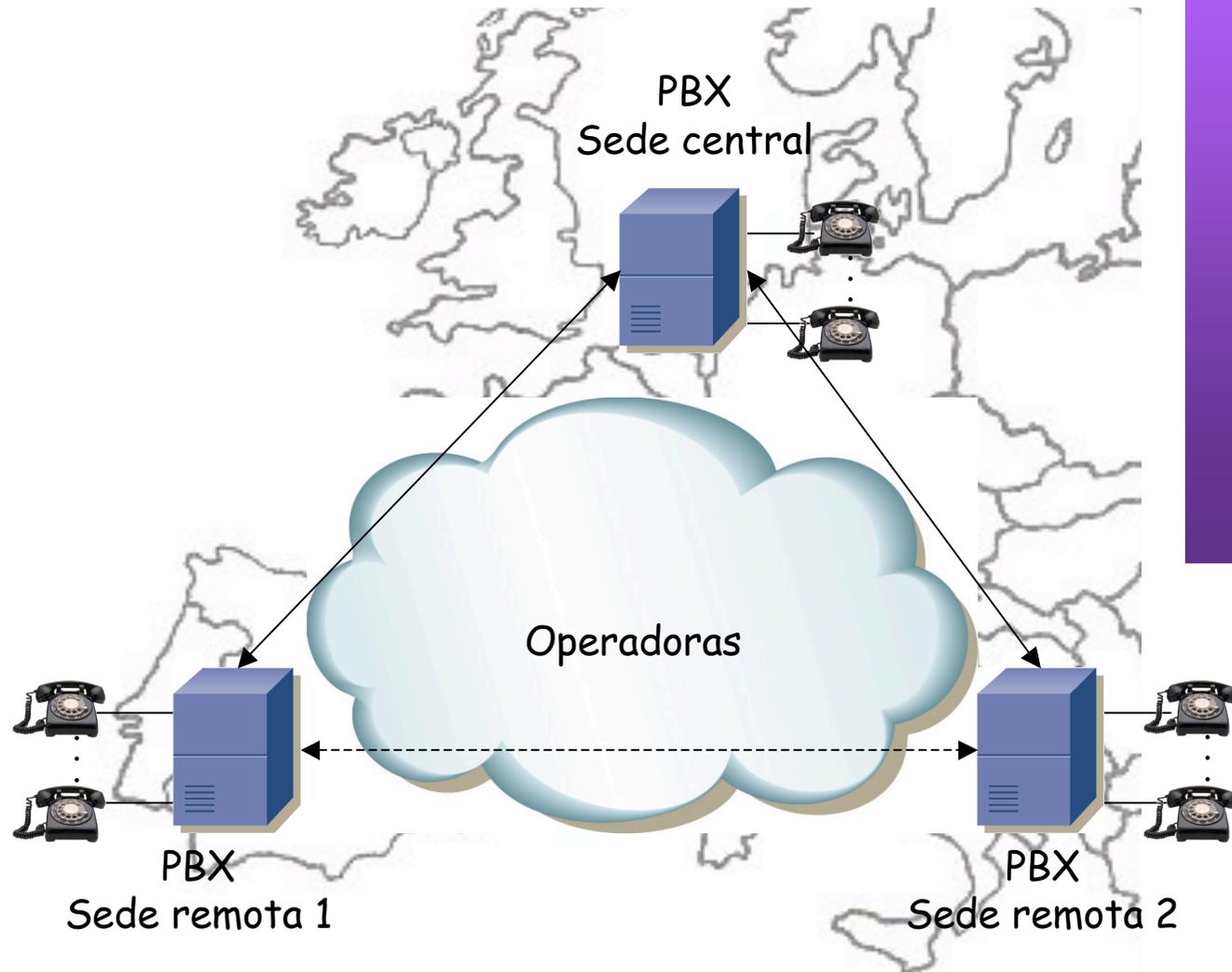
# Voz entre sedes

Mediante llamadas internacionales



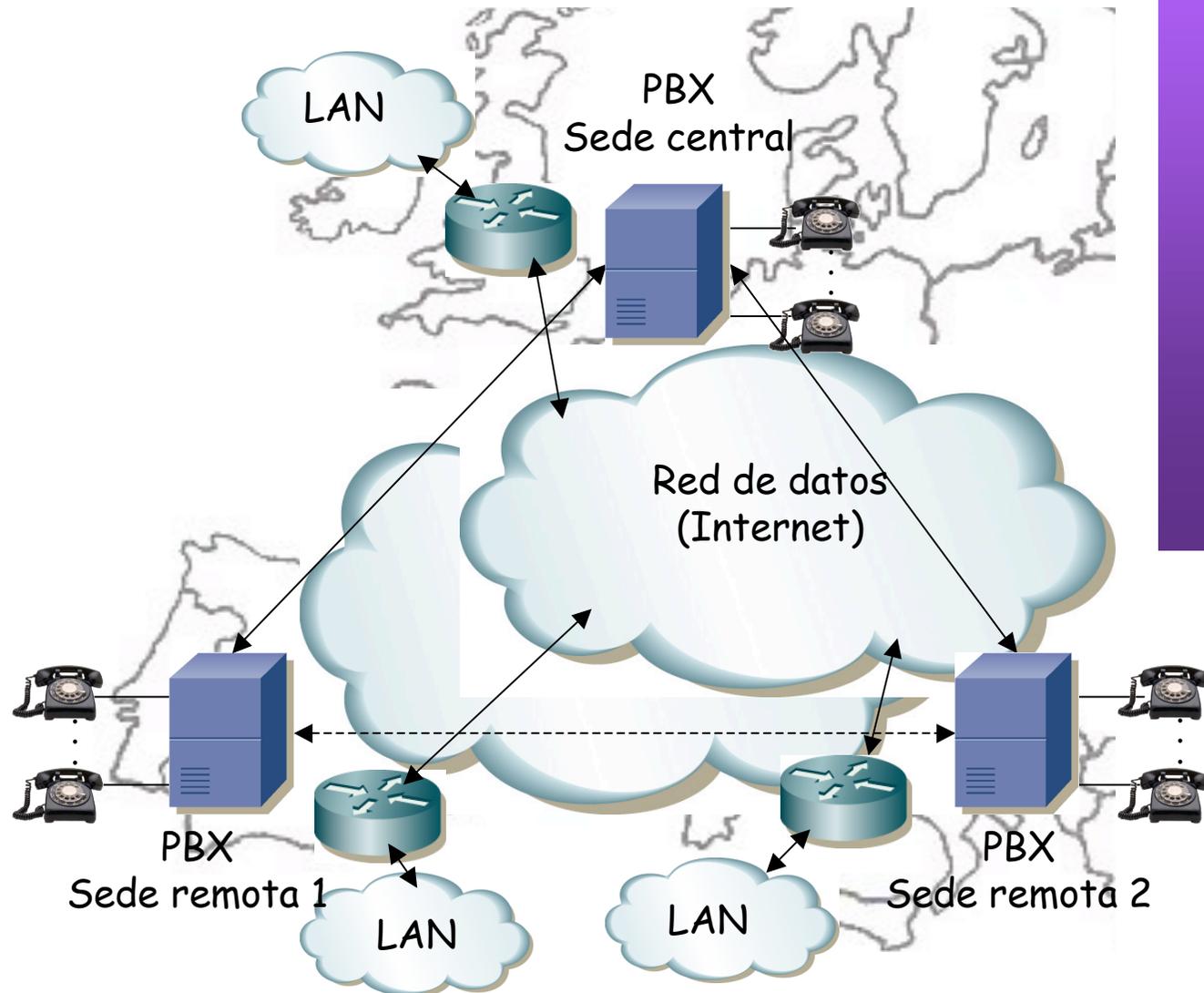
# Voz entre sedes

## Enlaces dedicados (malla o hub)



# Voz + datos

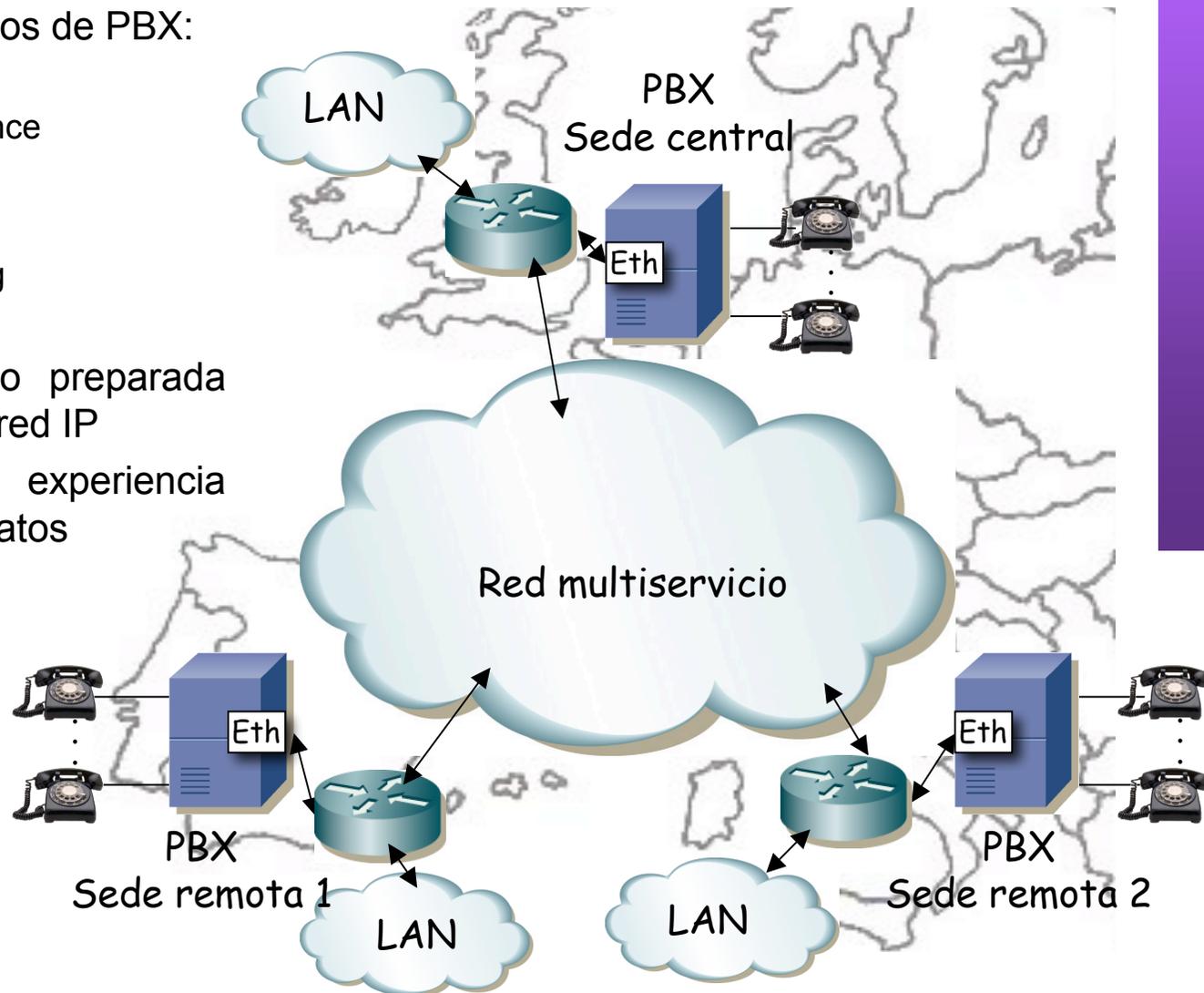
Probablemente tenga enlaces de datos simultáneamente



# Convergencia

## PBXs con interfaces IP (Ethernet)

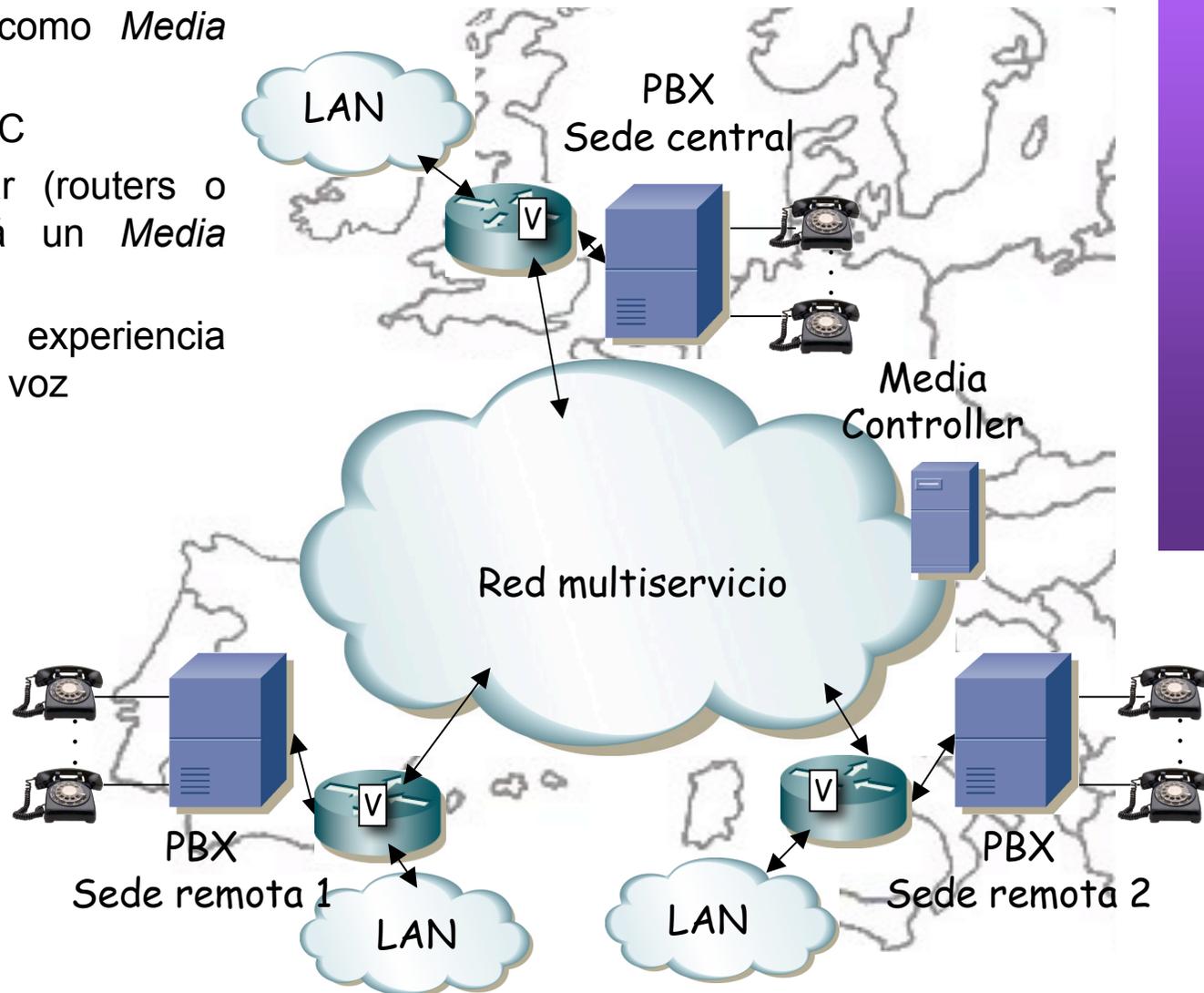
- Reutiliza servicios de PBX:
  - Call transfer
  - Call conference
  - Paging
  - Bridging
  - Group calling
  - Etc.
- Señalización no preparada para delays en red IP
- Fabricante con experiencia en voz, no en datos



# Convergencia

## PBXs trunk TDM y conversión en router

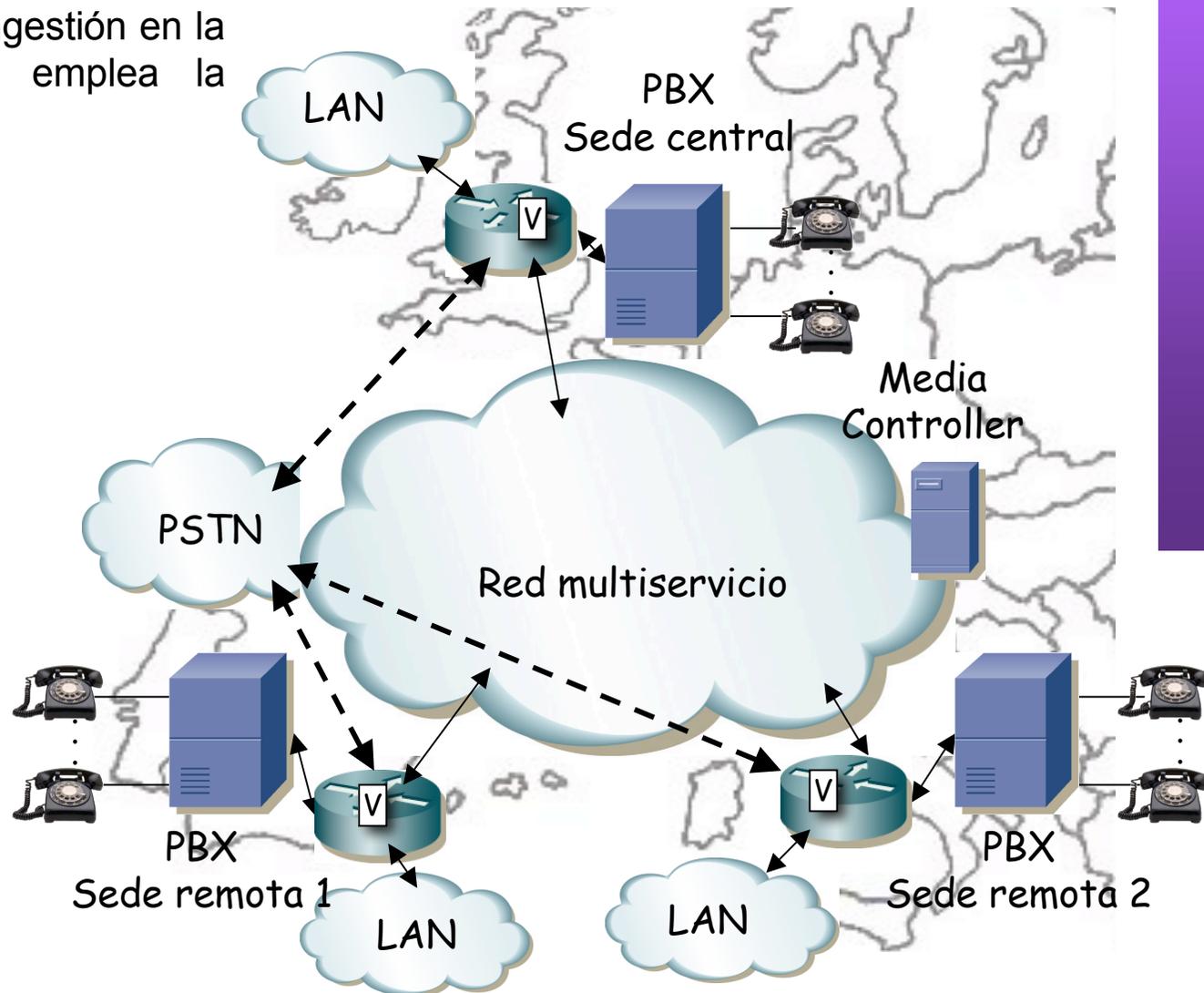
- Router actúa como *Media Gateway*
- Puede ser un PC
- En algún lugar (routers o externo) habrá un *Media Controller*
- Fabricante con experiencia en datos, no en voz



# Convergencia

## Multi-Point Switched Gateway

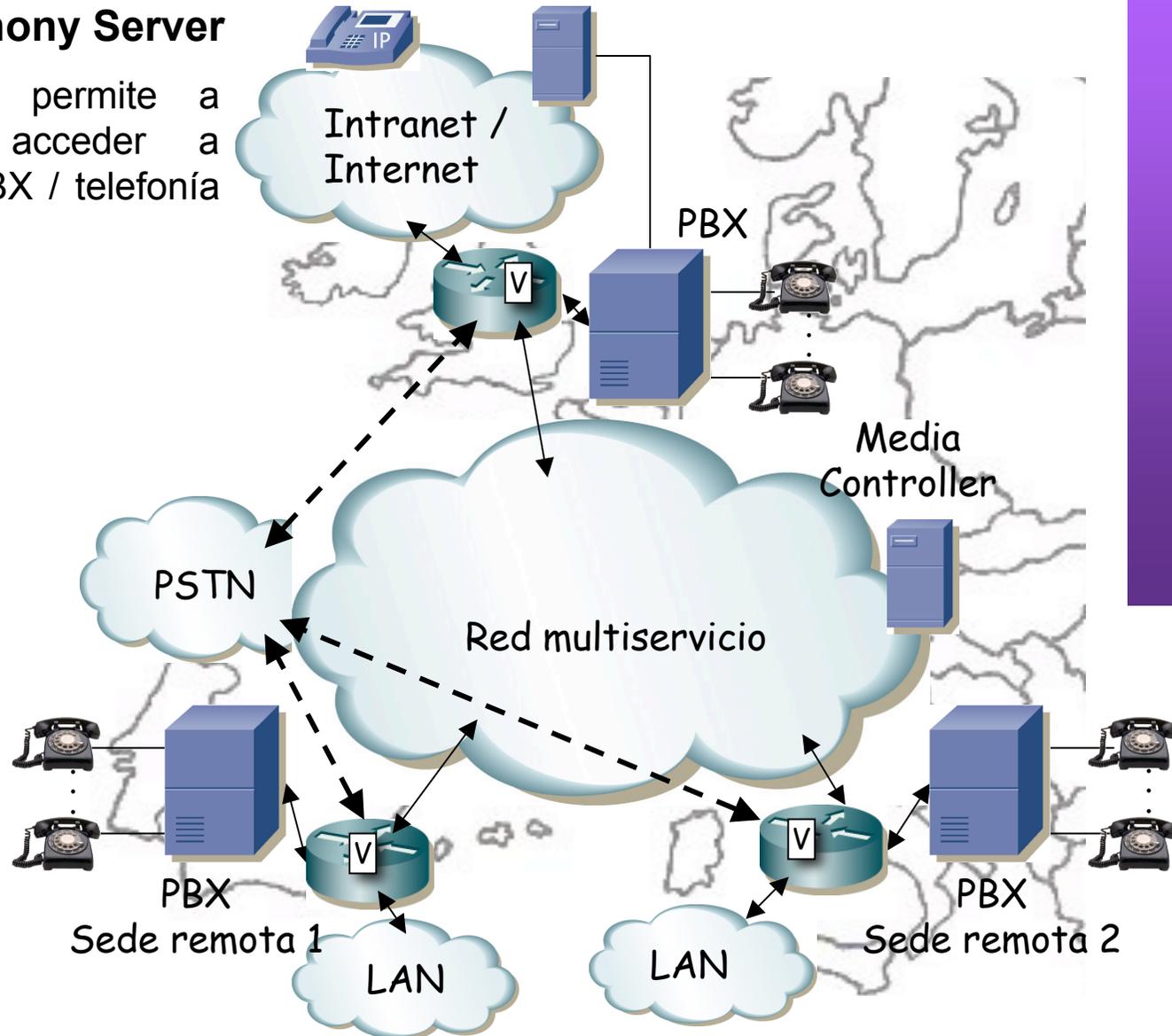
- En caso de congestión en la red de datos emplea la PSTN



# Convergencia

## (Remote) Telephony Server

- Gateway que permite a teléfono IP acceder a servicios de PBX / telefonía tradicional



# Codecs más típicos

Codec		BW (Kbps)	Delay (msec)	Calid.	MIPS
G.711	PCM	64	1	:-D	0.34
G.723.1	MP-MLQ	6.3	30	:-)	16
G.723.1	ACELP	5.3	30	:-	16
G.726	ADPCM	16, 24, 32, 40	1	:-  :-)	14
G.728	LD-CELP	18	3-5	:-)	33
G.729a	CS-ACELP	8	15	:-)	10.5

- PCM = Pulse Code Modulation
- MP-MLQ = Multi-Pulse Maximum Likelihood Quantization
- ACELP = Algebraic Code Excited Linear Prediction
- ADPCM = Adaptive Differential PCM
- LD-CELP = Low Delay Code Excited Linear Prediction
- CS-ACELP = Conjugate Structure Algebraic CELP
- ¡¡ No son los únicos !!

# Codecs + protocolos

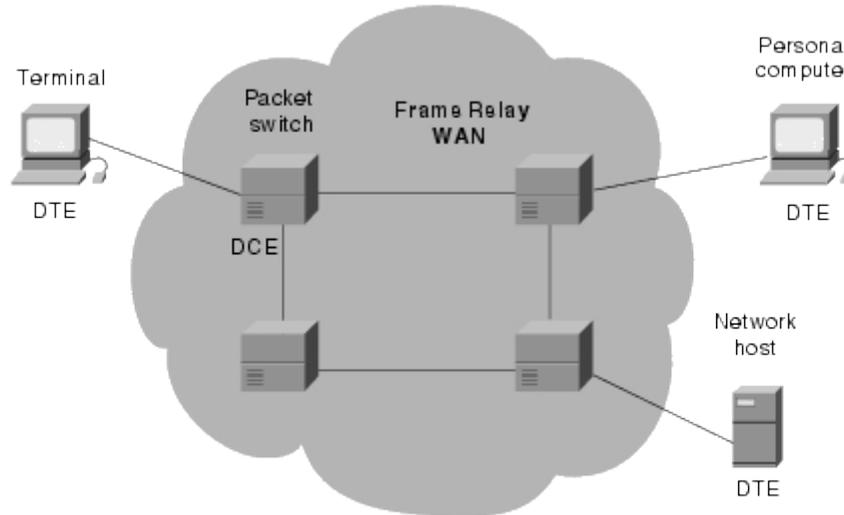
- Cada paquete suele llevar unos 20-30ms de muestras
- En el cálculo del BW hay que tener en cuenta la encapsulación
  - X bytes de *payload* (muestras de voz)
  - +12 de cabecera RTP
  - + 8 de cabecera UDP
  - +20 de cabecera IP (mínima sin opciones)
  - + Y bytes de cabecera de enlace
- Ejemplo: G.711 (64 Kbps, Con paquetes cada 20ms, 50 pps)
  - 8.000 muestras/seg, 8 bits/muestra  $\Rightarrow$  160 bytes/paquete
  - $160+12+8+20 = 200$  bytes de paquete IP  $\Rightarrow$  10.000 Bps (80 Kbps)
  - Enlace PPP (+6 Bytes)  $\Rightarrow$  206 bytes/trama  $\Rightarrow$  82.4 Kbps
  - Enlace Ethernet (+18 Bytes)  $\Rightarrow$  218 bytes/trama  $\Rightarrow$  87.2 Kbps
  - Enlace Frame Relay (+4 Bytes)  $\Rightarrow$  204 bytes/trama  $\Rightarrow$  81.6 Kbps
  - ATM/AAL5-LLC/SNAP  $\Rightarrow$  5 celdas = 265 bytes/paquete  $\Rightarrow$  106 Kbps
- Ejemplo: G.729a (8 Kbps, con paquetes cada 20ms, 50 pps)
  - PPP = 26.4 Kbps, Ethernet = 29.6 Kbps, FR = 25.6 Kbps, ATM = 42.2 Kbps
- Con VAD (Voice Activity Detection) reducción en torno a un 35%



# VoFR



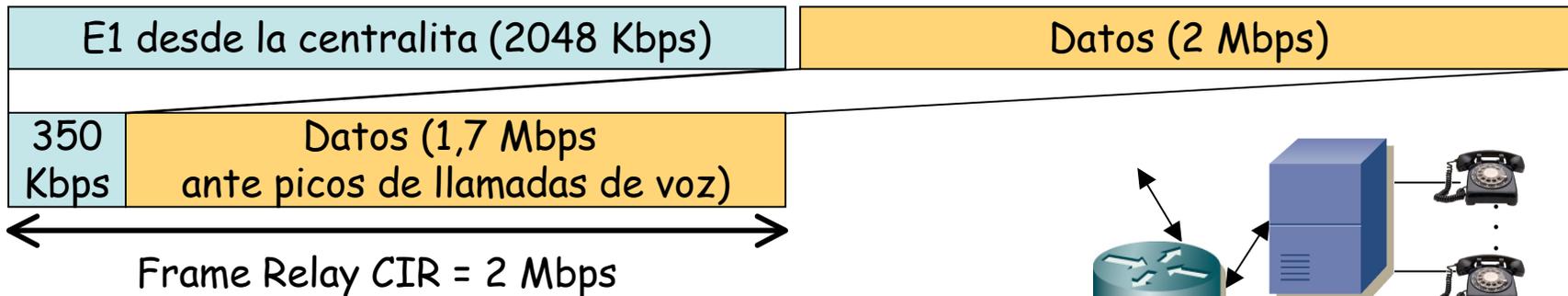
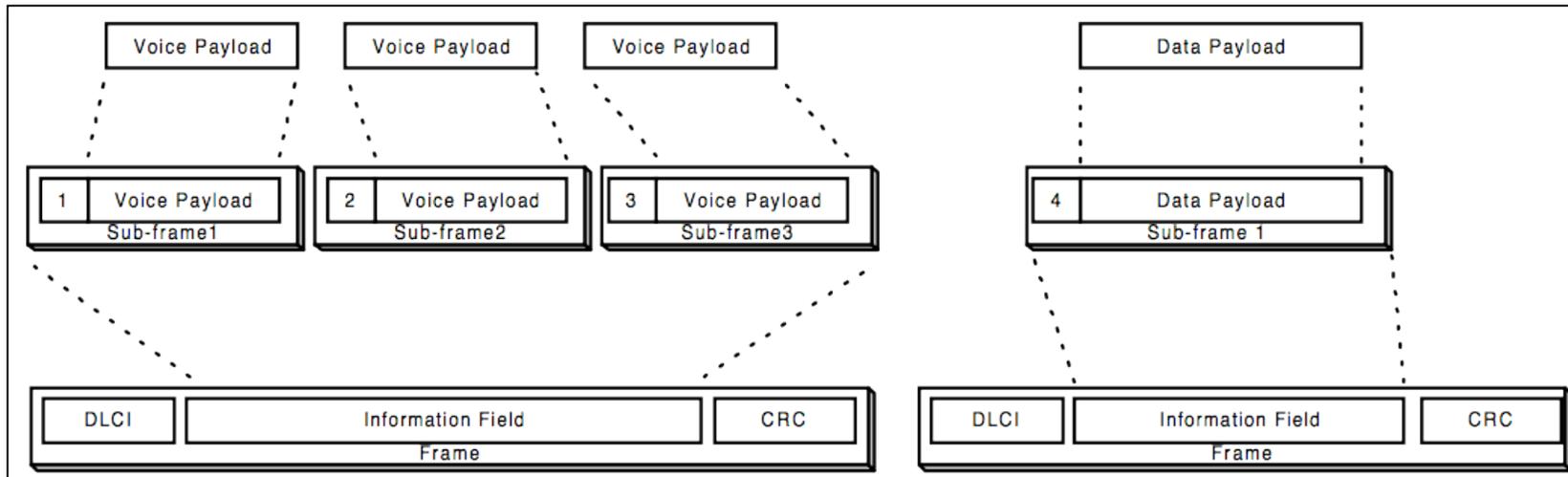
# Voice over Frame Relay (VoFR)



- Estándares maduros, interoperabilidad estable
- PVCs con un CIR (Committed Information Rate) garantizado
- Soporta ráfagas a mayor velocidad pero pueden ser descartadas por la red
- Enlaces punto-a-punto entre las sedes (máx 255 canales de voz per PVC)
- VoFR (FRF.11)

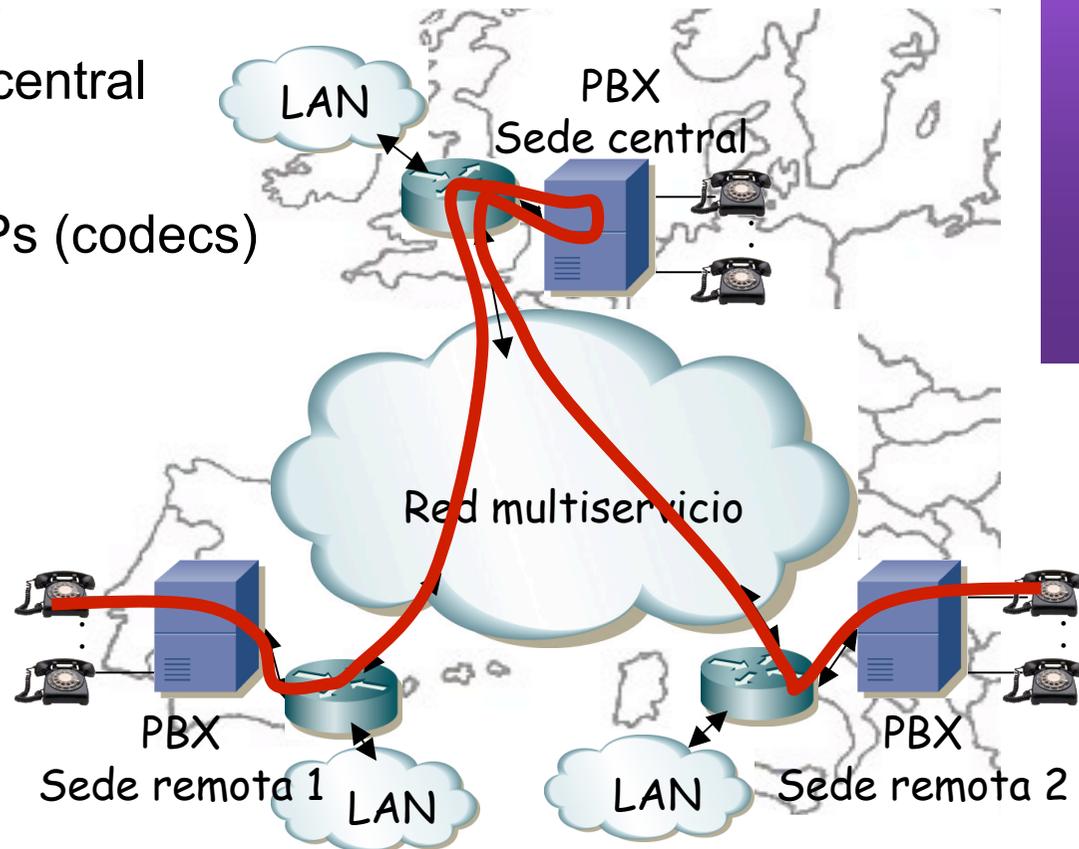
# Voice over Frame Relay (VoFR)

- Empleando un codec como G.729a cada llamada puede ocupar unos 10 Kbps
- Fragmentación soportada (FRF.12)



# VoFR y sede central

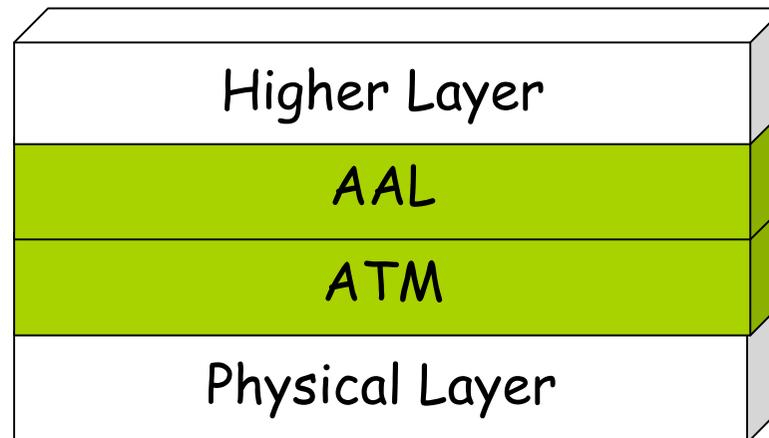
- PVCs solo con sede central
- Llamadas entre sedes remotas
- Conmutadas en PBX de sede central
- Pasa por 2 codecs
  - En sede remota y central
  - Pérdida de calidad
  - Requiere más DSPs (codecs)



# VoATM

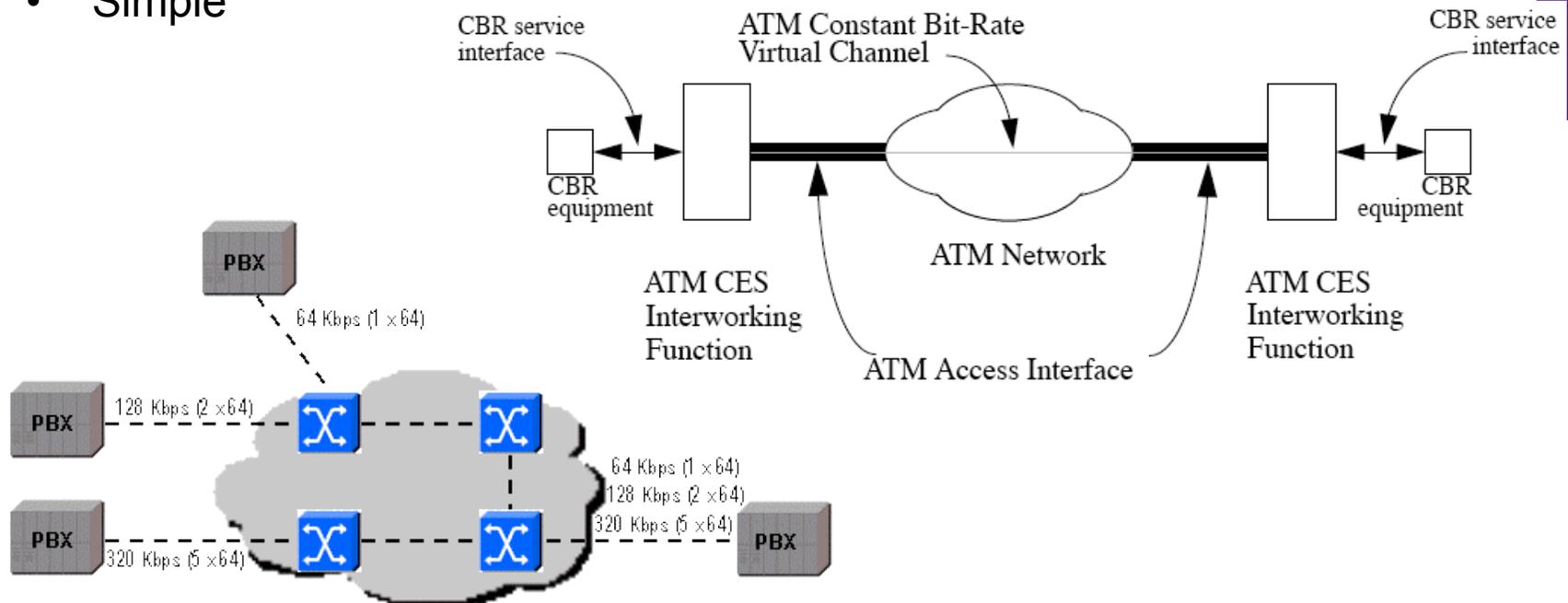
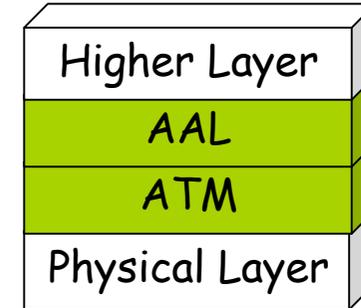
# Voice over ATM (VoATM)

- No ha logrado llegar hasta el escritorio
- Igual que VoFR se suele usar entre PBXs
- Más complejo de administrar que VoFR
- Para enlaces de mayor capacidad que con VoFR
- Modelos de transporte de voz
  - Voice trunking: tunneling del tráfico de voz. Adecuado para interconectar PBXs
  - Voice switching: la red ATM interpreta la señalización y encamina la llamada



# Circuit Emulation Services (CES)

- ITU-T I.363.1
- Emplea AAL1 para transportar un flujo CBR
- En el PVC es importante la CDV además del PCR
- *Unstructured AAL1*: transporte de DS1/E1, DS3/E3
- *Structured AAL1*
  - Transporte de DS1/E1, permite no enviar los DS0 no utilizados (entrada structured E1/T1 Nx64)
  - Puede repartir los DS0 entre varios destinos
- Simple



# DB-CES

- Dynamic Bandwidth CES
- Reconoce la señalización (ej: on-hook, off-hook) CCS o CAS (entonces debe ser structured)
- Envía celdas solo cuando hay llamada establecida en un DS0

# Trunking con AAL2 (I.363.2)

- Transporte de voz comprimida con detección/supresión de silencios y eliminación de canales inactivos
- Múltiples canales de voz en un circuito
- SSCS = Service Specific Convergence Sublayer
- CPS = Common Part Sublayer
  - CID (8 bits): Channel ID, permite hasta 248 canales de usuario
- VCCs VBR
- Modo *Non-switched trunking*
  - Cada canal de voz siempre en el mismo canal AAL2 en el mismo VCC
  - No procesa señalización
- Modo *Switched trunking*
  - Procesa señalización
  - El extremo selecciona el VCC y canal AAL2 en que colocar el canal de voz

SSCS

CPS



# VoIP



# VoIP

- Voice over Internet Protocol
- No es una red sino una aplicación

# Servicios en alza

## VoIP al por mayor

- Intercambio de minutos mediante *peering agreements*
- Permite a un ISP extender su alcance hasta partes donde no alcanza su red
- Un pequeño incremento en el grado de compresión puede significar grandes beneficios
- Importante el SLA
  - *Network uptime*
  - *Delay variance*
  - *Packet loss trends*
  - *Post Dial Delay*
  - *codecs* disponibles
- Diferentes *peers* diferentes precios: *Least Cost Routing* (para las llamadas)
- *Clearinghouse service provider*
  - Tiene acuerdos con un grupo de *service providers*
  - Gracias a economía de escala ofrece precios competitivos
  - Puede tener muy poca o ninguna infraestructura VoIP
  - *OSP (Open Settlement Protocol, ETSI)*

# Servicios en alza

## VoIP al por menor

- *Calling card services*
- Usuario llama a un número de acceso, contesta un gateway VoIP
- IVR (Interactive Voice Response)

## Acceso de voz y datos integrado para PYMEs

## Servicios gestionados para grandes empresas